



**Bruna Filipa Bastos Primo**

Licenciada em Conservação e Restauro

## **Biodeterioração por fungos de cerâmicas sem revestimento**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Conservação e Restauro

Orientadora: Doutora Maria Filomena Meireles Abrantes de Macedo Dinis,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadores: Doutora Inês Coutinho,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Doutor Pedro Fortuna,  
Professor Auxiliar  
Faculdade de Belas Artes - Universidade de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Rita Andreia Silva Pinto de Macedo  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutora Mathilda Amélia Larsson Dias Coutinho  
Investigadora, Laboratório Hércules – Universidade de Évora

Vogal: Doutora Maria Filomena Meireles Abrantes de Macedo Dinis,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa





**Bruna Filipa Bastos Primo**

Licenciada em Conservação e Restauro

## **Biodeterioração por fungos de cerâmicas sem revestimento**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Conservação e Restauro

Orientadora: Doutora Maria Filomena Meireles Abrantes de Macedo Dinis,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Co-orientadores: Doutora Inês Coutinho,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Doutor Pedro Fortuna,  
Professor Auxiliar  
Faculdade de Belas Artes - Universidade de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Rita Andreia Silva Pinto de Macedo  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutora Mathilda Amélia Larsson Dias Coutinho  
Investigadora, Laboratório Hércules – Universidade de Évora

Vogal: Doutora Maria Filomena Meireles Abrantes de Macedo Dinis,  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro de 2019**



## **Biodeterioração por fungos de cerâmicas sem revestimento**

Copyright © 2019 Bruna Filipa Bastos Primo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Filomena pela oportunidade de realizar este trabalho, pela orientação e ajuda. À Professora Inês Coutinho pela ajuda, disponibilidade e apoio.

Ao Professor Pedro Fortuna pela ajuda com as pastas cerâmicas e a produção dos provetes, e toda ajuda com as questões relacionadas com cerâmica.

Ao senhor Martins da Faculdade de Belas Artes que me ajudou com o cozimento dos provetes e me contou fantásticas histórias sobre o mundo da cerâmica e à faculdade pela cedência de espaço para trabalhar.

Um obrigado enorme ao professor Doutor Rui Silva pelas análises de SEM realizadas no Centro de Pesquisa de Materiais (CENIMAT) e pela disponibilidade e paciência, sem a sua ajuda isto não teria sido possível.

À Doutora Susana Coentro também um especial obrigado pela grande ajuda com o  $\mu$ -EDXRF e pela disponibilidade, amabilidade e simpatia.

Às pessoas da VICARTE, a quem chateie inúmeras vezes para pedir as chaves dos laboratórios.

Um obrigado gigante às minhas colegas e amigas Andreia, Beatriz e Sofia, com quem partilhei este ano, obrigada pela presença, apoio e por me aturarem, sem vocês isto teria sido muito mais difícil.

Às minhas madrinhas académicas Márcia e Catarina. Catarina, das melhores pessoas que conheci na faculdade, das pessoas que mais me ajudou nesta jornada e sem a qual sei que teria sido tudo tão mais difícil. À minha querida irmã académica, Ana Rita, nunca pensei que te fosses tornar um ser tão importante na minha vida, obrigada pela paciência, apoio e ajuda em todos os momentos e mais alguns.

E claro como não podia faltar, à melhor coisa que a faculdade me deu “As 4 da vida airada”, Teresa, Daniela e Carolina, nem tenho palavras de agradecimento para vocês, estão sempre lá para mim para o que der e vier, e tornaram estes longos 5 anos incríveis.

Ao meu namorado, que está sempre do meu lado, a ajudar-me, apoiar-me e distrair-me quando é preciso, que nunca me deixa desistir e me empurra para a frente.

Finalmente o mais importante agradecimento de todos, às pessoas mais importantes do mundo, aquelas que tornaram o meu percurso académico possível, ao meus pais, por sempre me apoiarem e aturarem, um especial agradecimento à minha mãe pois se não fosse ela nunca me teria candidatado à faculdade, é ela quem sempre me dá forças para tudo e me incentiva a lutar e ser melhor. Às minhas irmãs, que nos piores momentos levam sempre por tabela, obrigada por me aturarem vocês são as melhores.





## **Resumo**

Este estudo surgiu após uma revisão da literatura à cerca de cerâmicas sem revestimento, onde se percebeu a necessidade de se realizarem mais trabalhos na área da investigação em biodeterioração de cerâmicas sem revestimento, principalmente relativos a objetos utilitários e/ou decorativos, uma vez que são ainda muito escassos nesta área.

O objetivo deste trabalho foi perceber se as cerâmicas no seu estado inicial têm potencial de colonização, de que forma diferentes características das cerâmicas podem influenciar esse potencial e de que maneira o seu desenvolvimento pode promover alterações nas propriedades da cerâmica causando biodeterioração. Este estudo foi realizado através da inoculação por fungos de duas pastas cerâmicas (recolhidas em Portugal, nas zonas de Alcanede e Vendas Novas) e dois métodos de produção diferentes (lastra e roda) por um período de 90 dias.

Para analisar o desenvolvimento dos fungos nas cerâmicas e perceber se estes alteravam as suas propriedades, recorreu-se a um conjunto de análises, tais como Micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF), observação por Microscópio Ótico (MO), ensaios de porosidade, medições de pH, colorimetria, SEM- EDS/SE e SEM-BSE, com o intuito de caracterizar os diferentes provetes cerâmicos antes e após o período de incubação dos fungos, de modo a perceber se após este período os fungos se desenvolveram e se os provetes sofreram alterações.

Após as análises às cerâmicas inoculadas com fungos, concluiu-se que estes penetraram para o seu interior, dando início a deterioração física, e que provocaram ligeiras alterações nas diferentes propriedades analisadas. No entanto, não foi possível associar o desenvolvimento dos microrganismos e as alterações nas propriedades cerâmicas com as diferentes pastas ou métodos de produção, uma vez que os resultados obtidos para o mesmo tipo de provetes foram, em alguns casos, bastante semelhantes (por exemplo  $\mu$ -EDXRF e pH), e noutros casos muito variáveis (por exemplo colorimetria e SEM-BSE).

**Palavras-chave:** Biodeterioração, Fungos, Cerâmica sem revestimento, Microscópio Ótico, pH, SEM-BSE, SEM-EDS



## **Abstract**

This study emerged after a literature review about uncoated or unglazed ceramics, where it was realized the need for further work in the area of research on biodeterioration of uncoated ceramics, mainly related to utilitarian and/ or decorative objects, since study focusing these objects are still scarce in this area.

The objective of this work was to understand the colonization potential of ceramics in their initial state, how the different characteristics of ceramics can influence this potential and how their development can promote changes in ceramic properties causing biodeterioration. This study was carried out by fungal inoculation using two ceramic pastes (pastes collected in Portugal in the areas of Alcanede and Vendas Novas) and two different production methods (lastre production and wheel production) for a period of 90 days.

To analyze the development of fungi in ceramics and to see if these altered the ceramics' properties, a multianalytical approach was used, resorting to techniques such as micro energy dispersive X-ray fluorescence ( $\mu$ -EDXRF), optical microscopy (MO), porosity assays, pH, colorimetry, SEM-EDS/SE and SEM-BSE measurements, in order to characterize the different ceramic specimens before and after the fungi incubation period, in order to understand if after this period the fungi developed and whether the ceramic test pieces have changed.

After the analysis of the fungi-inoculated ceramics, it was concluded that they penetrated into the ceramic body initiating physical deterioration, and also caused slight changes in the different analyzed properties. However, it was not possible to associate the development of microorganisms and changes in the ceramic properties with the different pastes or production methods, since the results obtained were in some cases quite similar between the different specimen types (eg  $\mu$ -EDXRF and pH), and in other cases were very variable between the same type of specimen (eg colorimetry and SEM-BSE).

**Keywords:** Biodeterioration, Fungi, Uncoated Ceramics, Optical Microscope, pH, SEM-BSE, SEM-EDS



## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1. Introdução.....	1
1.1. Biodeterioração.....	3
1.2. Objetivos .....	4
2. Microrganismos Identificados em Cerâmicas Sem Revestimento (Revisão da literatura) .....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Metodologia.....	5
2.3. Resultados e Discussão .....	5
2.4. Conclusões da revisão da literatura.....	10
3. Materiais e Métodos.....	11
3.1. Seleção dos microrganismos a estudar.....	12
3.2. Preparação dos provetes cerâmicos.....	13
3.4. Caracterização dos provetes no seu estado inicial e após incubação dos fungos .....	15
4. Resultados e Discussão .....	17
4.1. Caracterização dos provetes cerâmicos.....	17
4.1.1. Micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF) .....	17
4.1.2. Difração de Raio-X ( $\mu$ -XRD) .....	18
4.1.3. Medições de pH .....	19
4.1.4. Análise por Microscopia Ótica (MO).....	19
4.1.5. Determinação da porosidade aberta .....	21
4.2. Caracterização dos provetes após o período de incubação dos fungos.....	22
4.2.1. Análise Colorimétrica .....	22
4.2.2. Medições de pH .....	24
4.2.3. Determinação da porosidade aberta .....	24
4.2.4 Análise por microscopia eletrónica de varrimento (MEV = SEM) .....	25
5. Conclusões.....	29
6. Referências .....	33
ANEXO I.....	- 37 -
ANEXO II – Condições de análise e protocolo.....	59
ANEXO III – Resultados das análises elementares de SEM- EDS .....	63



## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Gráficos sintetizados a partir da tabela sobre os microrganismos identificados em cerâmicas sem revestimento (Anexo I). Tipos de estudos relacionados com colonização biológica (A). Tipologia de cerâmicas estudadas (B). Diversidade microbiana presente em cerâmicas sem revestimento (C). Diversidade microbiana em cada tipologia de cerâmica (expressa em números) (D).....	6
<b>Figura 3.1.</b> Fungo <i>Aspergillus versicolor</i> Vuill. (A). Fungos <i>Penicillium chrysogenum</i> Thom (B). .....	12
<b>Figura 3.2.</b> Pasta de Alcanede - P1 (A) e Pasta de Vendas Novas - P2 (B).....	13
<b>Figura 3.3.</b> Design Experimental da produção de provetes e a sua função (A). Provetes já cozidos e amostra de cada pasta antes da cozedura (B). .....	14
<b>Figura 3.4.</b> Esquema dos quatro modelos em estudo nas placas de petri para o período de incubação.....	15
<b>Figura 4.1.</b> Detalhe do difractograma obtido para a amostra P1 antes (pasta cerâmica) e após cozimento(corpo cerâmico). Fel-K - Feldspato potássico; H - Hematite; K - Caulinite; M-I - Mica/ilite; Mu - Mulite; Q - Quartzo. ....	18
<b>Figura 4.2.</b> Detalhe do difractograma obtido para a amostra P2 antes (pasta cerâmica) e após cozimento(corpo cerâmico)- A - Anatase; K - Caulinite; M-I - Mica/ilite; Mu - Mulite; Q - Quartzo. ....	19
<b>Figura 4.3.</b> Imagens microscópicas da superfície cerâmica provete P1 a Lastra (A,B,C), provete P1 a Roda (D,E,F), provete P2 a Lastra (G,H,I) e provete P2 a Roda (J,K,L). Imagens do lado esquerdo e centro luz incidente, iamgens lado direito luz rasante. As imagens da esquerda e da direita foram obtidas com ampliação x50 e as imagens do centro com aplicações x100. ....	20
<b>Figura 4.4.</b> Imagens de SEM do interior das amostras após 90 dias de incubação: P1_Lastra (A, A1), P1_Roda (B, B1, B2), P2_Lastra (C) e P2_Roda (D,E). Setas brancos indicam esporos e setas vermelhas indicam hifas. ....	25
<b>Figura 4.5.</b> Imagens de SEM do interior das amostras após 90 dias de incubação: P1_Lastra (A, A1), P1_Roda (B, B1, B2), P2_Lastra (C) e P2_Roda (D,E). Setas brancos indicam esporos e setas vermelhas indicam hifas. ....	27
<b>Figura III.0.1.</b> Amostra P1_Lastra com fungos. Zona colorida representa a zona analisada. Zona delineada a negro representa zona com contaminação por fungos. ....	63





## Índice de tabelas

<b>Tabela 4.1.</b> Média e desvio padrão das concentrações dos óxidos presentes nas pastas cerâmicas em estudo. ....	17
<b>Tabela 4.2.</b> Resultados dos Ensaio de Porosidade Aberta (%) dos quatro tipos de provetes cerâmicos iniciais (sem alterações).....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
<b>Tabela 4.3.</b> Parâmetros estatísticos das coordenadas colorimétricas registradas nos provetes Inoculados e nos provetes Controle, da Pasta de Alcanede (P1) e da pasta de Vendas Novas (P2) produzidos a Lastra e Roda. Diferença de cor entre os provetes Controle e provetes Inoculados. ....	23
<b>Tabela 4.4.</b> Medições de pH para ambas as pastas, antes e depois do período de incubação. ....	24
<b>Tabela 4.5.</b> Resultados dos Ensaio de Porosidade Aberta (%) dos 4 modelos cerâmicos Antes e Depois da incubação dos Fungos.....	24



## Abreviaturas

P1 – provetes produzidos com a Pasta 1 (de Alcanede)

P2 – provetes produzidos com a Pasta 2 (de Vendas Novas)

P1\_Lastra – provetes produzidos com a Pasta 1 e método de produção a Lastra

P1\_Roda – provetes produzidos com a Pasta 1 e método de produção a Roda

P2\_Lastra – provetes produzidos com a Pasta 2 e método de produção a Lastra

P2\_Roda – provetes produzidos com a Pasta 2 e método de produção a Roda

$\mu$ -EDXRF - micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias

$\mu$ -XRD – Difração de Raio X

MO – Microscópio Ótico

CIE – Commission Internationale de l'Eclairage;

$\Delta E_{lab}$  – Diferença de cor total registada

SEM - microscópio eletrónico de varrimento

SE – Eletrões secundários

BSE – Eletrões retro difundidos

EDS- Espectroscopia de raios-X por energia dispersiva

$\mu\text{m}$  – Micrómetros

*NIST* - National Institute of Standards and Technology



## 1. Introdução

O termo “cerâmica” deriva da palavra grega para argila, *keramos*, e é frequentemente utilizado para todos os tipos de materiais cuja matéria-prima base são argilas que por ação do calor sofrem alterações químicas e ganham resistência mecânica formando assim o corpo cerâmico<sup>[1], [2]</sup>. A argila é um material granular natural constituída por várias espécies mineiras, entre as quais predominam os minerais argilosos resultantes da decomposição (meteorização) de rochas e da evolução dos solos. Quimicamente os minerais argilosos são silicatos de alumínio hidratados podendo ainda conter matéria orgânica e outras impurezas. Esta é responsável pelas propriedades plásticas necessárias à moldagem do material antes de este ser endurecido por cozedura, pois na presença de água adquirem grande plasticidade. Esta é um material simples, abundante, barato, facilmente adquirido e preparado e terá sido uma das primeiras matérias-primas utilizadas pelos povos primitivos<sup>[2]–[4]</sup>. A descoberta da argila como material plástico não está, arqueologicamente, bem documentado. Estatuetas de argila cozidas de Dolní Věstonice, um sítio arqueológico na República Checa, datadas de 30 000 a.C., são os primeiros objetos conhecidos. No Velho Mundo, os primeiros vasos cerâmicos aparecem no Japão, no início da cultura Jomon, cerca de 10 000 a.C.<sup>[5]</sup>. A argila é o componente plástica das pastas cerâmicas mas outros componentes são adicionados á pasta cerâmica com funções distintas, tais como: fundentes, que têm como função reduzir a temperatura de cozedura da pasta (por exemplo: feldspatos, óxidos de sódio, potássio, cálcio e magnésio); Inertes ou materiais não-plásticos, cuja função é reduzir a contração da pasta durante a secagem e minimizar o risco de fratura e distorção durante a cozedura (por exemplo chamote (argila cozida moída), areia ou conchas moídas); e reguladores, materiais adicionados em baixas percentagens com fins muito específicos (por exemplo corantes, texturantes, opacificantes, entre outros)<sup>[2], [6], [7]</sup>. O processo de produção da maioria dos objetos cerâmicos tradicionais envolve quatro etapas fundamentais: a preparação das matérias-primas em que se pode misturar um ou mais tipos de argilas, e aos quais se adiciona outros componentes de forma a melhorar as propriedades de trabalho, cozedura e uso. A mistura resultante designa-se pasta cerâmica; a conformação da pasta cerâmica (existindo diversos métodos de conformação); secagem: evaporação da água nas pastas cerâmicas; e por fim a cozedura a uma temperatura suficientemente elevada para que ocorra sinterização, ou seja, solidificação das partículas entre si. Entre os 100 e os 200°C liberta-se a água adsorvida pela pasta, entre os 450° e os 700°C perde-se a água de composição química (grupos hidroxilo), entre os 300 e os 800°C arde a matéria orgânica existente na pasta (libertação de CO), entre os 600 e os 900°C dá-se a decomposição das inclusões inorgânicas (sulfatos, sulfuretos, carbonatos, entre outros) acompanhada da libertação de gases, tais como CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, entre os 800 e os 900°C inicia-se a sinterização das partículas e começa a formar-se a fase vítrea que vai ligar as partículas, a porosidade diminui e consequentemente a densidade aumenta. Com o aumento da temperatura formam-se novos silicatos, como a mulite (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> .2SiO<sub>2</sub>), o número de poros reduz e o corpo cerâmico torna-se cada vez mais denso e resistente. Inicia-se também a sinterização do corpo cerâmico e da reação entre a sílica, a alumina e outros óxidos (de ferro, de potássio, de cálcio, de sódio) resultando a formação de novas fases cristalinas (as chamadas fases cristalinas de alta temperatura). Deste processo resulta também a diminuição da porosidade do corpo cerâmico, a diminuição da absorção de água e o aumento da resistência mecânica à flexão.<sup>[6]</sup>. Á pasta cerâmica cozida, parte estrutural que constitui um objeto de cerâmica, dá-se o nome de corpo cerâmico<sup>[2], [7]</sup>.

As características do corpo cerâmico como por exemplo a sua composição, textura e porosidade estão relacionadas com a composição das matérias-primas e a sua granulometria, mas também podem ser afetadas pelo método de produção, temperatura e atmosfera de cozimento a que foram submetidas, entre outros <sup>[2], [3]</sup>. Os objetos cerâmicos podem ter funções utilitárias, culturais e/ou decorativas <sup>[1], [2]</sup>. As cerâmicas, quer sejam utilitárias, arquitetônicas e/ou decorativas, têm um grande valor como marcadores temporais, mas não só, têm também o potencial de fornecer várias informações importantes tais como: a mudança cultural e a colonização dos povos, a identidade de grupos e indivíduos, os status sociais e económicos dos consumidores, mudanças nas práticas relacionadas ao consumo de alimentos e bebidas, padrões de comércio e de variações locais e regionais do mesmo, mudanças tecnológicas, industrialização, entre outros <sup>[5], [8], [9]</sup>.

Embora a produção comercial tenha trazido certa uniformidade ao material disponível, gerações de ceramistas limitavam-se às argilas que podiam obter nas proximidades das suas casas ou oficinas e só mais tarde com a evolução do conhecimento os ceramistas começaram a adicionar outros componentes de forma a melhorar as propriedades de trabalho, cozedura e uso das pastas cerâmicas. As argilas variam em plasticidade, cor e na sua reação ao calor sendo que diferentes argilas seriam ideais para diferentes tipos de manufatura. A experiência adquirida pelo homem juntamente com as características dos materiais locais levou a uma evolução na diversidade de estilos e técnicas regionais<sup>[2], [7]</sup>. Para além disso também as técnicas de produção de cerâmica foram evoluindo, desde métodos tradicionais como a moldagem manual, até tecnologias mais complexas como a produção por máquinas indústrias recorrentes nos dias de hoje.

Evidências arqueológicas sugerem que os primeiros vasos cerâmicos funcionais da cultura Jomon foram feitos unindo placas de pasta cerâmica. Esta técnica designada por técnica da lastra (“slab building” em inglês) consistia na conformação de objetos cerâmicos a partir de placas de pasta cerâmica, que eram formadas primeiramente pela pressão de um rolo sobre a pasta de modo a estende-la entre duas marcas, o que permitia a obtenção de placas de espessura uniforme, que eram depois recortadas e unidas de modo a formar um objeto <sup>[1], [10]</sup>. Este método foi logo suplantado pela técnica de rolos (“coiling” em inglês), em que se sobrepunham rolos de argila montados em círculos ou espiral ao mesmo tempo que se pressionava para se unirem e depois se alisavam as faces. Este era o método mais comum para fazer peças em cerâmica antes da invenção da roda de oleiro que originou uma redução na percentagem de produção manual, que foi diminuindo progressivamente durante toda a idade do Ferro, tornando-se inexpressiva entre o final da Idade do Ferro e inícios da época Romana <sup>[7], [10]</sup>. A roda do oleiro torna-se o principal método de produção cerâmica na Época Romana devido às evidentes vantagens na manufatura de peças cerâmicas numa mesa giratória (torno ou roda), que permitiu maior rapidez de execução e melhor qualidade nos acabamentos <sup>[7], [10]</sup>. Ao longo dos tempos foram inventadas novas técnicas de conformação cerâmica, mas a técnica da roda de oleiro está ainda nos dias de hoje muito presente. À pasta cerâmica ou ao corpo cerâmico podiam ser aplicadas decorações e revestimentos que geralmente são específicas de comunidades culturais ou civilizacionais<sup>[5], [8], [9], [11], [12]</sup>. Incisões, relevos, incrustações, modelação, são algumas das técnicas mais antigas utilizadas para decorar peças cerâmicas antes de serem cozidas, ou seja, aplicadas na pasta cerâmica. Com o tempo, algumas cerâmicas foram sendo complementadas com revestimentos, que normalmente eram aplicados no corpo cerâmico (após cozimento da pasta cerâmica), como por exemplo engobes e vidrados. O vidrado por exemplo, o conhecimento de maneiras para o produzir é de grande antiguidade remontando a pelo menos 5000 a.C., como era feito em muitas partes do mundo muito antes do início de qualquer conhecimento científico de química os processos de produção foram provavelmente essencialmente simples e com matérias-

primas abundantes. Este começou a ser utilizado não só por questões estéticas, mas acima de tudo por aumentar a resistência mecânica da cerâmica e por a tornar impermeável<sup>[2] [7]</sup>.

Apesar de serem dos materiais com maior resistência, as qualidades da cerâmica estão diretamente ligadas ao modo como esta foi trabalhada, assim como a sua suscetibilidade a diferentes tipos de deterioração. As cerâmicas que não têm um revestimento que as proteja estão ainda mais suscetíveis à deterioração, o que é o caso das cerâmicas mais antigas, cerâmicas primitivas que constituem objetos de elevado valor histórico, que na sua grande maioria se encontram mais fragilizadas devido à sua antiguidade e necessitam de especial atenção para a sua preservação.

A deterioração de materiais cerâmicos pode ser influenciada pelas características intrínsecas deste substrato (por exemplo, composição mineralógica, rugosidade da superfície e porosidade), e características extrínsecas como agentes ambientais, condições microclimáticas, poluição atmosférica e colonização biológica. Esses fatores podem induzir decadência física, química e biológica nos materiais cerâmicos<sup>[3], [13], [14]</sup>.

### **1.1. Biodeterioração**

A biodeterioração é definida como qualquer alteração indesejada nas propriedades de um material provocada por organismos tais como insetos, algas, líquenes, fungos, bactérias entre outros<sup>[15]</sup>. Os microrganismos são capazes de interagir com os materiais causando alterações nas suas propriedades, tais como alterações estéticas, físicas ou químicas, que muitas vezes acontecem em simultâneo<sup>[16]</sup>. O desenvolvimento de microrganismos, as alterações e impacto que estes podem ter num material vão depender do microrganismo em si, das propriedades do material (composição, pH, salinidade, teor de matéria orgânica, rugosidade, porosidade, etc.) e das condições ambientais a que o material está ou esteve sujeito<sup>[16]–[19]</sup>.

O biodeterioração foi relatada como um fenómeno muito comum em cerâmicas utilizadas para a arquitetura, como as telhas e os tijolos, existindo alguns estudos relativos à biodiversidade e biodeterioração nestas tipologias cerâmicas<sup>[3], [11], [14], [20]–[22]</sup>. No entanto, no que toca a estudos referentes a outras tipologias de cerâmica, como objetos utilitários e/ou de decoração históricos e arqueológicos a informação ainda é muito escassa.

A aptidão que um determinado material tem para ser colonizado por um ou vários organismos é designada de Bioreceptividade<sup>[23]</sup>. Esta pode também ser definida como a totalidade das propriedades do material que contribuem para o estabelecimento, fixação e desenvolvimento da fauna e/ou flora. Esta pode ser dividida em 4 tipos: primária, em que o potencial de colonização depende das propriedades do material enquanto estas permanecem muito semelhantes ou idênticas às do estado inicial; secundária, o potencial é induzido por organismos e/ou fatores ambientais que possam já ter causado mudanças no material; terciária, em que é devido à ação humana, como por exemplo em materiais já restaurados, ou com biocidas, etc; e ainda extrínseca, que depende da deposição e acumulação de partículas externas ou substratos, como por exemplo solo e sujidade que podem depositar-se e modificar as condições iniciais de bioreceptividade<sup>[23]</sup>.

Apesar de serem dos materiais com maior resistência, as qualidades da cerâmica estão diretamente ligadas aos materiais e métodos de produção utilizados para as fazer, assim como a sua suscetibilidade a diferentes tipos de danos, a deterioração e biodeterioração. Como se sabe, a cerâmica é um material poroso, no entanto a percentagem de porosidade depende do tipo de cerâmica, do tipo de argila/pasta cerâmica utilizada, do método de produção e esta característica é

uma das que pode influenciar a colonização por parte de agentes biológicos <sup>[14], [23]</sup>. Uma matriz com porosidade mais elevada será capaz de reter mais humidade e calor o que poderá pressupor uma bioreceptividade maior <sup>[24]</sup>. A capacidade de adesão e o estabelecimento de organismos são também aspetos cruciais para a colonização biológica, portanto o número de locais de ancoragem e micro-refúgios que são expressos pela rugosidade superficial aumentam a bioreceptividade de um material<sup>[25], [26]</sup>. Por estas razões, cerâmicas cuja superfície levou algum tipo de revestimento, como por exemplo vidrado, que torna a superfície lisa e impermeável, serão cerâmicas mais resistentes à colonização microbiana do que cerâmicas sem revestimento <sup>[26]–[29]</sup>.

## **1.2. Objetivos**

De acordo com o contexto anteriormente apresentado, os principais objetivos deste trabalho são:

- Levantamento do estado atual do conhecimento relativo ao tipo de microrganismos colonizadores de cerâmicas sem revestimento;
- Tendo por base o ponto anterior, seleção da tipologia de microrganismos a estudar;
- Seleção dos tipos de cerâmicas a estudar;
- Estudo da influência dos diferentes tipos de cerâmica (pastas e métodos de produção diferentes) no desenvolvimento dos microrganismos em estudo e das alterações causadas pelos microrganismos nas cerâmicas – biodeterioração.

Com este trabalho pretende perceber-se se as cerâmicas no seu estado inicial têm potencial para o desenvolvimento de microrganismos e de que forma diferentes características das cerâmicas podem influenciar esse potencial.



## **2. Microrganismos Identificados em Cerâmicas Sem Revestimento (Revisão da literatura)**

### **2.1. Introdução**

A biodeterioração ou decaimento biológico tem sido relatado como um fenómeno muito comum em materiais cerâmicos de exterior (por exemplo: [3], [11], [20], [30]–[34]). No entanto, poucos estudos foram realizados com foco na biodeterioração e colonização biológica de materiais cerâmicos, em comparação com estudos em outros materiais, como por exemplo a pedra [3], [30], [35], [36]. Uma compilação com uma visão crítica de toda a bibliografia dispersa relativamente à colonização biológica e biodeterioração de materiais cerâmicos arquitetónicos, nomeadamente tijolos, telhas e azulejos foi realizada em *Coutinho, Miller, and Macedo, 2015* [3], com o objetivo de colmatar a falha que existia no que toca a uma revisão sobre o tema de modo a poder-se mais facilmente estudar a problemática da biodeterioração em cerâmica arquitetónica. No entanto, apesar de em *Coutinho, Miller, and Macedo, 2015* [3] terem colmatado esta falha no que toca a materiais de cerâmica arquitetónicos, continua a existir uma falha no que toca a informação à cerca de colonização biológica e biodeterioração de objetos cerâmicos utilitários e/ou decorativos, isto dever-se-á ao facto de existirem muito poucos estudos relativos a colonização biológica nesta tipologia cerâmica [24], [29], [37]–[42]. O principal objetivo deste capítulo é fazer uma revisão da literatura de modo a perceber que tipo de estudos existem sobre colonização biológica e que microrganismos colonizam cerâmicas sem revestimento, ou seja, objetos feitos de pastas cerâmicas que foram cozidos mas aos quais não foi aplicado qualquer tipo de revestimento, onde se incluíram materiais de construção cerâmicos e objetos de cerâmica utilitários e/ou decorativos e sistematizar quais os microrganismos identificados nessas mesmas tipologias.

### **2.2. Metodologia**

Efetou-se uma extensa pesquisa bibliográfica desde 1972 a 2019 onde o foco foram os estudos relativamente à colonização microbiológica em cerâmicas sem revestimento, desde materiais de construção cerâmicos a objetos utilitários e/ou de decoração e arqueológicos.

Após a pesquisa bibliográfica, realizou-se uma sistematização dos microrganismos identificados em todos estes estudos numa tabela (Anexo I) com a tipologia cerâmica em que cada microrganismo foi identificado, o local de proveniência da cerâmica e o tipo de estudo de onde foi retirada a informação assim como a respetiva referência. Os dados da tabela foram depois sintetizados em gráficos para uma melhor compreensão e síntese dos mesmos.

### **2.3. Resultados e Discussão**

Foram contabilizados um total de 44 estudos sobre a colonização biológica em cerâmicas sem revestimento realizados entre 1972 e 2019. Como se pode observar na figura 2.1A, 57% dos estudos são relativos à biodiversidade, 30% à biodeterioração, em minoria estão os estudos de intervenção/mitigação (sobre limpeza e prevenção) com 9% e estudos de bioreceptividade com 4%. A figura 2.1B ilustra a percentagem de estudos que existe para cada tipologia cerâmica. Observa-se que a maioria dos estudos foram realizados em materiais cerâmicos de construção (telhas e tijolos) (por exemplo: [14], [43]–[46]) o que revela interesse e preocupação em proteger o património cultural arquitetónico cerâmico.

No entanto são muito poucos os estudos que abordam a biodiversidade, biodeterioração e bioreceptividade em objetos cerâmicos utilitários e/ou decorativos. Os poucos estudos existentes são referentes a objetos arqueológicos, em que alguns casos só foi detetada colonização microbiológica no objeto após estes estarem armazenados. Os autores destes estudos consideram que a contaminação era proveniente do solo onde estavam enterrados e não devido ao ambiente onde se encontravam [37]–[39]. Dos oito estudos que existem publicados sobre objetos cerâmicos arqueológicos sem revestimento, cinco deles são referentes ao estudo de biodeterioração e bioreceptividade do mesmo conjunto de objetos - fragmentos cerâmicos arqueológicos da Argentina, onde os autores são pioneiros no interesse em estudar a biodeterioração em cerâmicas utilitárias/decoração arqueológicas [24], [29], [40]–[42].

Como se pode verificar na figura 2.1C, de uma forma geral os microrganismos mais identificados foram as Cianobactérias (42%), sendo que a maioria foi identificada em tijolos (figura 2.1D). O género de Cianobactérias mais identificado foi o *Scytonema*, identificado trinta vezes, sendo que apenas duas foram em telhas e as restantes em tijolos; o segundo e terceiro géneros mais identificados foram o *Chroococcus* e *Nostoc*, encontrados vinte e duas e dezassete vezes, respetivamente, sendo que em ambos os casos apenas duas foram identificadas em telhas e as restantes em tijolos.

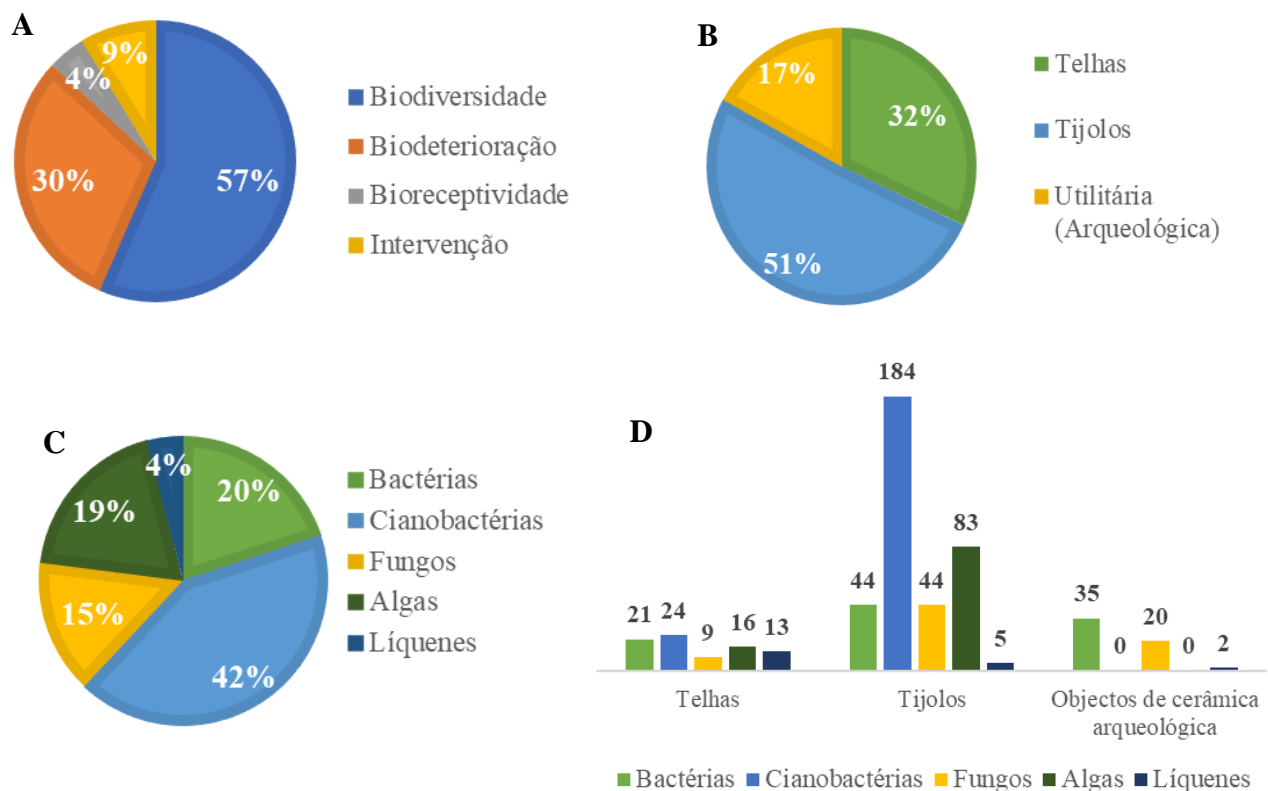


Figura 2.1. Gráficos sintetizados a partir da tabela sobre os microrganismos identificados em cerâmicas sem revestimento (Anexo I). Tipos de estudos relacionados com colonização biológica (A). Tipologia de cerâmicas estudadas (B). Diversidade microbiana presente em cerâmicas sem revestimento (C). Diversidade microbiana em cada tipologia de cerâmica (expressa em números) (D).

O segundo tipo de microrganismos mais identificados foram as bactérias (20%), tendo sido a tipologia mais identificada em objetos de cerâmica arqueológica (figura 2.1D). As bactérias são um grupo de microrganismos ubíquos, capazes de colonizar quase todo o tipo de materiais pois crescem utilizando como fonte de energia substâncias orgânicas e inorgânicas, tendo uma grande variedade e versatilidade metabólica, o que as torna um grande problema na deterioração de materiais orgânicos e inorgânicos <sup>[3], [19]</sup>. O género mais identificado nas bactérias foi o *Bacillus*, e foi encontrado em todas as tipologias cerâmicas, sendo mais eminente nos tijolos. O segundo género mais identificado foi *Pseudomonas*, mas com ocorrências muito inferiores ao *Bacillus*, pois só foi encontrado quatro vezes, sendo que duas delas foram nos objetos cerâmicos arqueológicos.

As algas são a terceira categoria de microrganismos mais encontrados (19%). São consideradas colonizadores primários em muitos substratos não só devido a usarem a luz como fonte de energia, mas também devido às suas capacidades para crescer sem presença de matéria orgânica e à sua baixa necessidade de nutrientes, crescem em buracos, fissuras ou abaixo de crostas, onde a água fica retida e muitas vezes formam biofilmes bastante visíveis o que é também esteticamente indesejável. O género mais identificado foi a *Chlorella*, identificado treze vezes, onde apenas quatro foram identificadas em telhas e as restantes em tijolos; o segundo e terceiro géneros mais identificados foram a *Trentepohlia* e o *Chlorococcum*, identificados sete e oito vezes, respetivamente, onde para ambos os géneros, foram identificados duas vezes em telhas e as restantes em tijolos. A menor biodiversidade de microrganismos fototróficos encontrados em telhas cerâmicas, em comparação com tijolos, pode ser explicada pelo fato de as telhas serem geralmente submetidas a condições climáticas extremas, como alta amplitude de temperatura, alta exposição à radiação e rápida drenagem superficial, provavelmente retardando a desenvolvimento de fotoautotróficos <sup>[3], [31]</sup>.

Os fungos apenas surgem em 15% das cerâmicas sem revestimento, e são o segundo tipo de microrganismos mais identificado em objetos de cerâmica arqueológica como se pode observar na figura 2.1D Apesar de poderem estar presentes em número inferior ao das bactérias, geralmente contribuem com uma maior proporção para o total de biomassa microbiana no substrato onde se desenvolverem devido à sua maior dimensão celular <sup>[47]–[49]</sup>. Os seus crescimentos em objetos com valor patrimonial geralmente causam deterioração estética grave devido à formação de colónias e pigmentos fúngicos, para além disso têm facilidade em penetrar em rachas e fissuras e migrar para o interior dos objetos. No caso da cerâmica é muito fácil penetrarem não só pelas fissuras e rachas, caso existam, mas também pelos poros da cerâmica, o que poderá provocar a desunião e desagregação dos materiais cerâmicos <sup>[47]–[49]</sup>. Os géneros de fungos mais identificados foram o *Aspergillus* e o *Penicillium*, ambos identificados seis vezes, sendo que ambos os géneros foram detetados duas vezes em objetos de cerâmica arqueológica, o *Aspergillus* foi identificado quatro vezes em tijolos e nenhuma vez em telhas, e o *Penicillium* foi identificado uma vez em telhas e três vezes em tijolos. Estes dois géneros de fungos são muito presentes no ar e no solo e encontrados em vários climas em todo o mundo <sup>[48], [49]</sup>.

Os líquenes, como se pode constatar, são os microrganismos menos identificados, o que pode estar relacionado com as suas exigências ecológicas e diferente compatibilidade e tolerância com os substratos devido à grande diversidade desta tipologia, pois cada espécie possui as suas próprias necessidades e limitações fisiológicas <sup>[50]</sup>. A maioria dos líquenes foram identificados em telhas, o que demonstra que estes organismos se desenvolvem bastante nesta tipologia cerâmica e que têm elevada importância na sua degradação. O seu desenvolvimento e crescimento pode causar vários problemas, por exemplo devido ao facto de as suas hifas terem uma grande capacidade de

penetração e que uma vez que se estabeleçam no substrato levam à rápida deterioração e quebra das telhas <sup>[43]</sup>. Os líquenes identificados nas cerâmicas arqueológicas foram encontrados nos bordos e superfícies erodidas das cerâmicas, em que o estudo afirma que a erosão nas cerâmicas provocadas pelo intemperismo ambiental foi determinante para a colonização por parte dos líquenes, pois verificou-se que estes aderiam primeiro às áreas mais enfraquecidas das cerâmicas <sup>[41]</sup>.

### **Biodeterioração**

Para além do levantamento à cerca da biodiversidade nas tipologias cerâmicas apresentado anteriormente, fez-se também um levantamento das principais ações de biodeterioração dos microrganismos, que foram tanto estéticas como físicas e químicas (em muitos casos as três formas de deterioração acontecem em simultâneo).

A biodeterioração estética é claramente o primeiro e mais evidente impacto que afeta o substrato cerâmico e tem um impacto muito negativo, particularmente no património cultural. Os biofilmes são os principais causadores de alterações estéticas em diversos materiais. Estes são a forma usual de crescimento de muitos microrganismos e da associação entre diferentes microrganismos que muitas vezes se agregam como filmes, flocos, grânulos e estão envolvidos numa matriz altamente hidrofílica de substâncias poliméricas extracelulares. As associações microbianas podem ser menos ou mais complexas e o seu desenvolvimento depende do aparecimento de microrganismos com baixas necessidades, cuja presença e atividade metabólica permite a formação de um microclima específico (frequentemente fornecendo maior humidade relativa na superfície do material ou fornecendo nutrientes), permitindo assim o estabelecimento posterior de microrganismos mais exigentes. A capacidade de formar associações microbianas é completamente diferente de ambientes externos para ambientes fechados onde objetos históricos são por norma armazenados <sup>[19]</sup>.

Os biofilmes provocam mudanças cromáticas nos substratos devido a pigmentos biogénicos, que, dependendo do tamanho da área que ocupam, podem alterar a aparência estética e, portanto a interpretação do significado cultural <sup>[3], [16], [18], [19], [24], [29], [51], [52]</sup>. A formação de manchas em tijolos e telhas devido à atividade biológica tem sido relatada por vários autores, embora no caso das telhas a literatura reunida apresente uma menor biodiversidade de microrganismos <sup>[14], [43], [53]</sup>.

Em *Lopez-Arce and Garcia-Guinea, 2005* <sup>[54]</sup> biofilmes foram observados cobrindo algumas superfícies de tijolos em sítios históricos (expostos a ambientes aéreos e de enterramento). A interação entre a camada de biofilme, soluções aquosas adicionais mais a dissolução dos minerais originais precipitaram micro-nódulos de manganês nos tijolos expostos a ambientes de enterramento. Os micro-nódulos podem ter-se formado ou pela ação de agentes redutores em soluções aquosas ricas em  $MnO_4K$  antropogénico, ou por mecanismos de oxidação ligados ao biofilme alga-líquen <sup>[55]</sup>.

Também existem relatos de manchas de microrganismos identificados em cerâmicas arqueológicas, no entanto são muito escassos, alguns detetaram as manchas de colonizações biológicas nos objetos, já após estarem nas reservas de uma instituição <sup>[37], [38]</sup>.

Os microrganismos e biofilmes também induzem mudanças químicas e físicas nos materiais, tanto na superfície como no interior, penetrando no substrato e contribuindo para a sua deterioração <sup>[51]</sup>.

A ação direta de produtos metabólicos expelidos pelos microrganismos em substratos inorgânicos é a principal causa da biodeterioração química, este fenómeno pode promover o aumento da porosidade capilar do corpo cerâmico e a formação de eflorescências que não só podem provocar

alterações de cor na superfície como também enfraquecer o material cerâmico e aumentar a suscetibilidade a outros tipos de deterioração [3], [13], [56].

Os materiais de construção como os tijolos e as telhas, podem ter funções estéticas, mas possuem essencialmente outras propriedades funcionais associadas ao seu papel de construção, como o isolamento estrutural, térmico e higroscópico e refletância da luz. Tal como nos materiais de construção, muitos objetos utilitários também possuem algumas destas propriedades. Estas propriedades podem ser alteradas e perdidas devido ao crescimento biológico [57].

O dano físico e biofísico é muitas vezes devido ao enfraquecimento ou quebra das ligações intergranulares e alterações de volume (expansão e contração) devido as flutuações de volume microbiano (células microbianas) que ocorrem durante o crescimento ou penetração de estruturas biológicas no material cerâmico (como hifas ou líquenes), como consequência o material vai enfraquecendo com o tempo, degradando e podendo por fim decair [14], [40], [43], [58].

Os líquenes, por exemplo, têm uma influência importante nos processos de deterioração de cerâmicas. Estudos propõem que as telhas sofreram deterioração pelo ataque direto das hifas dos líquenes que penetram na matriz cerâmica, pela expansão e contração dos talos que afetam a formação de sais orgânicos e inorgânicos e que também provocam alterações texturais nas telhas; Na superfície de tijolos e argamassas internas foi observada a dissolução dos minerais por líquenes, deixando marcas como “micropitting” e cristais de calcite em áreas em contacto com as hifas [43], [54].

Foram também descritas ações de deterioração por parte de fungos num estudo de *Radeka, et al. 2007* [14] nomeadamente a deterioração química através da decomposição parcial de formas cristalinas das telhas devido à sua atividade metabólica, o ácido oxálico excretado pelos fungos desempenha um papel crucial nas ações de remoção de elementos; formação de depósitos de oxalato de cálcio, possivelmente devido ao descarte do excesso de cálcio (da atividade metabólica); penetração de hifas no substrato cerâmico que provocam o início de deterioração física.

*Mandal and Rath, 2013* [56] analisaram o biofilme fotossintético presente nos tijolos de terracota de monumentos na Índia, maioritariamente composto por algas e cianobactérias, em que os carboidratos celulares e extracelulares das principais cianobactérias se interligavam às esculturas de terracota e permaneciam bem agregados às superfícies da terracota, o que levou à desfiguração dos elementos arquitetónicos, alterou o tamanho e distribuição dos poros juntamente com mudanças nos padrões de circulação da humidade e causou tensões termo hidrogénicas no material, sendo então estas as causas mais prováveis da deterioração nestes monumentos arqueológicos de terracota [56].

Em *Soto, Guimet, and Callegari, 2017* [40] analisaram a biodeterioração em cerâmicas arqueológicas de superfície de Climas Áridos e semi-Áridos em que uma complexa comunidade de microrganismos composta por fungos e bactérias formaram biofilmes no interior das cerâmicas, que não só a deterioraram quimicamente produzindo ácidos que as desintegraram, mas também mecanicamente quando as hifas fúngicas se desenvolveram e separaram o material.

Cerâmicas sem revestimento, estarão à partida mais suscetíveis ao ataque de microrganismos devido ao facto de não terem um revestimento que as proteja e por norma por esse motivo também terem uma superfície mais porosa e rugosa, o que facilita a agregação e penetração dos microrganismos [19], [40], [41], [51]. Para além disso, cerâmicas históricas e arqueológicas sem revestimento fazem parte do património cultural, e muitas vezes encontram-se fragilizadas ou mesmo deterioradas devido ao uso, intempérie e a tudo pela qual já passaram, o que as torna ainda mais suscetíveis a agregação e desenvolvimento de microrganismos. Por exemplo em *Soto,*

*Guamet, and Callegari, 2017*<sup>[40]</sup> através de uma série de estudos conseguiram concluir que o fator determinante para a colonização de líquenes no substrato cerâmico foi a degradação cerâmica provocada pelos agentes atmosféricos e pelos agentes ambientais, pois os líquenes aderiram primeiro às zonas debilitadas da cerâmica, aos cantos e microfissuras antes de se estenderem ao resto da superfície.

## **2.4. Conclusões da revisão da literatura**

Neste trabalho foram apresentados os microrganismos colonizadores de cerâmicas sem revestimento, desde materiais cerâmicos arquitetônicos a objetos de cerâmica utilitários/decorativos arqueológicos.

Relativamente à biodiversidade em cerâmicas sem revestimento, foram identificados um total de 500 microrganismos, em que 100 eram bactérias, 208 cianobactérias, 99 algas, 73 fungos, e 20 líquenes. À exceção das cianobactérias e das algas, todos os outros microrganismos foram relatados em todas as tipologias cerâmicas, estas duas não foram identificadas nos objetos cerâmicos arqueológicos. Os microrganismos listados não podem ser analisados em termos de padrões de abundância ou biodiversidade, uma vez que muitos estudos foram dirigidos por objetivos de pesquisa, privilegiando a identificação de um determinado tipo de microrganismos. Por exemplo, alguns estudos identificaram seletivamente bactérias, fototróficos, fungos ou líquenes. Mesmo no que toca aos estudos de caso em cada tipologia cerâmica, estes são variáveis entre as tipologias, sendo muito difícil estabelecer relações entre um determinado microrganismo e uma determinada tipologia cerâmica.

Foram também apresentadas as principais ações de deterioração causadas por microrganismos em cerâmicas.

Com esta revisão pode concluir-se que existem alguns estudos relativamente à biodiversidade e biodeterioração de materiais cerâmicos de construção, como os tijolos e telhas e que o decaimento biológico é algo muito comum em cerâmica arquitetónica, principalmente quando exposta ao exterior. No entanto, comparativamente a outro tipo de materiais como a pedra, o estudo da biodeterioração em cerâmica ainda tem um longo percurso a decorrer.

Também se pode constatar que existem muito poucos estudos que se debrucem sobre a problemática da contaminação microbiológica e biodeterioração noutras tipologias cerâmicas, como objetos utilitários e/ou de decoração. A pequena percentagem de estudos (17%) que existe é relativamente a objetos cerâmicos arqueológicos, isto reflete o facto de objetos cerâmicos históricos serem de facto na sua grande maioria provenientes de contextos arqueológicos sendo que as cerâmicas são a maior classe de artefactos recuperados em escavações de locais históricos. A ausência de estudos de biodeterioração nesta tipologia pode estar não só ligada à falta de interesse por parte dos investigadores, mas também devido ao facto de existirem lacunas quanto à preservação de um artefacto por parte dos arqueólogos no seu campo de trabalho, o que os leva muitas vezes a realizar como primeiro passo, após o desenterramento de um objeto, a lavagem dos artefactos sem grandes cuidados, o que por consequência pode eliminar os microrganismos presentes na superfície e que são visíveis, o que leva a que quando o objeto chega a um laboratório/instituição, os profissionais não se apercebiam que o objeto poderia conter colonização biológica e só passado algum tempo, os microrganismos se voltam a desenvolver para o exterior (os microrganismos permanecem viáveis nos esporos da cerâmica) é que os profissionais se apercebem das alterações provocadas muitas vezes pelos biofilmes.

É de facto importante estudar a biodeterioração em cerâmicas históricas quer sejam arqueológicas ou não, pois são também parte integrante e importante do património cultural e no caso de objetos utilitários poderão já estar degradados fisicamente e/ou conter resíduos da sua utilização, como por exemplo comida, o que pode aumentar a possibilidade de desenvolvimento de microrganismos, no caso das cerâmicas arqueológicas podemos ainda acrescentar o facto de ficarem expostas a condições microclimáticas e aos nutrientes orgânicos do solo.

Conclui-se também que a biodeterioração estética é um dos principais problemas causados pelos microrganismos, relatado em todos os estudos, pois são o primeiro e mais evidente impacto causado pelos microrganismos. Estes desenvolvem biofilmes coloridos e produzem pigmentos orgânicos que causam um grande impacto na aparência da cerâmica. Mas os microrganismos também provocam deterioração química e física, produzindo ácidos que desintegram e alteram a sua estrutura, e mecanicamente devido às flutuações de volume microbiano, alterações de volume de células microbianas durante o crescimento ou penetração de estruturas biológicas no material cerâmico, como hifas ou líquenes e que provocam a rutura nas microestruturas do interior cerâmico.

As alterações e o impacto que a colonização biológica tem na cerâmica dependem não só dos microrganismos envolvidos como também do tipo de material e das condições ambientais a que este esteve ou está sujeito. É então de extrema importância que sejam realizados estudos sistemáticos que investiguem a biodeterioração relacionada com o tipo de microrganismos, o tipo de material (as suas características) e condições ambientais e que no fim sejam também realizados estudos que relacionem estes três fatores, que tanto influenciam a biodeterioração.

### 3. Materiais e Métodos

A metodologia para este trabalho foi definida após uma revisão da literatura no capítulo 2 relativa a microrganismos colonizadores de cerâmicas sem revestimento e biodeterioração, onde se percebeu quais os microrganismos que mais afetam as cerâmicas sem revestimento. Com esta revisão constatou-se que existe uma lacuna relativamente ao estudo da biodeterioração em objetos de cerâmica decorativos/utilitários sem revestimento históricos e arqueológicos. Por esse motivo decidiu-se neste trabalho estudar a biodeterioração em cerâmicas sem revestimento através de diferentes provetes cerâmicos, produzidos através de técnicas características da manufatura de objetos cerâmicos decorativos/utilitários, tendo como objetivo perceber se objetos cerâmicos no seu estado inicial (sem terem sofrido alterações), são propensos ao desenvolvimento e proliferação de microrganismos e se estes causam alterações nas cerâmicas e se sim, quais.

Existem dois estudos, dentro do género do que apresentamos neste trabalho, estudos á cerca do efeito dos fungos em cerâmicas sem revestimento, um apresentado por *Radeka et al, 2007*, que aborda a deterioração por parte de dois fungos (*Aspergillus niger* e *Cladosporium* sp.) mas exclusivamente em telhas cerâmicas (sistema cerâmico preparado em laboratório através do procedimento extrudado de modelagem, onde descreve também a mineralogia da pasta ) e outro apresentado por *Ranogajec et al, 2008* que estuda a biodeterioração por parte de um fungo (*Aspergillus niger*) em telhas cerâmicas com diferentes temperaturas de cozedura <sup>[14][21]</sup>.

### 3.1. Seleção dos microrganismos a estudar

De entre a diversidade de microrganismos que contamina as cerâmicas sem revestimento decidiu-se estudar a ação dos fungos, por ter sido a segunda tipologia de microrganismos mais identificada em objetos de cerâmica arqueológica (objetos históricos). Apesar de nesta tipologia as bactérias estarem em maior número, os fungos geralmente contribuem com uma maior proporção total de biomassa microbiana no substrato onde se desenvolvem devido à sua maior dimensão celular. Os fungos são dos microrganismos mais visíveis e responsáveis pelas incrustações biológicas nas superfícies terrestres [47], [48], [59]. O seu crescimento em objetos de património cultural causa geralmente deteriorações estéticas graves devido à formação de colónias e pigmentos fúngicos. Para além disso, facilmente penetram e migram para o interior dos objetos, destruindo o seu interior devido à perfuração causada pelas suas hifas [47]–[49].

Os fungos selecionados foram o *Aspergillus versicolor* Vuill. (figura 3.1A) e *Penicillium chrysogenum* Thom (figura 3.1B). A escolha do género residuiu no facto de entre todos os fungos que foram identificados na revisão da literatura estes terem sido os géneros identificados mais vezes. A escolha da espécie para cada género deveu-se ao facto de serem espécies que são comuns no ar e no solo, e em resíduos de comida em decaimento, aspetos que podem ter bastante influência em objetos históricos utilitários e/ou arqueológicos.

Os fungos selecionados cresceram em meio de cultura PDA (Potato Dextrose Agar).

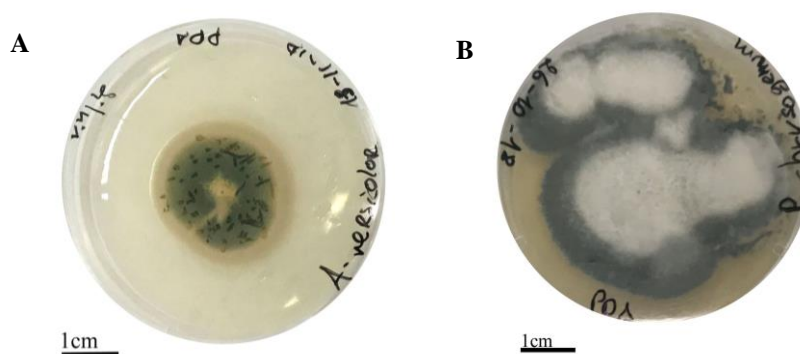


Figura 3.1. Fungo *Aspergillus versicolor* Vuill. (A). Fungos *Penicillium chrysogenum* Thom (B).



### 3.2. Preparação dos provetes cerâmicos

Selecionaram-se dois métodos de produção característicos da produção de objetos cerâmicos: o método da lastra, devido ao facto de ser, segundo sugerem as evidências arqueológicas, a técnica com que foram produzidos os primeiros vasos cerâmicos funcionais na cultura *Jomon* (10000 a.C.), ou seja das técnicas cerâmicas mais antigas; e o método da roda de oleiro, o principal método de produção de cerâmica a partir da época Romana que trouxe evidentes vantagens e por esse motivo também se tornou o método mais utilizado e conhecido em todo o mundo, sendo ainda nos dias de hoje muito utilizado.

Para cada método de produção foram utilizadas duas pastas cerâmicas diferentes provenientes de oleiros portugueses, Pasta 1 recolhida na zona de Alcanede e Pasta 2 zona de Vendas Novas, ambas não industriais, comumente utilizadas para a produção de objetos. O objetivo principal da escolha foi obter duas pastas que fossem distintas, como podemos observar na figura 3.2A e 3.2B.

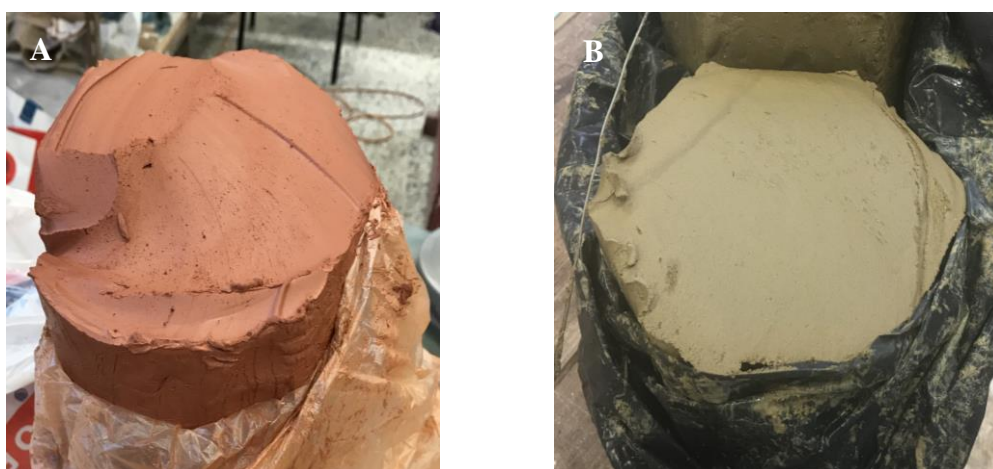


Figura 3.2. Pasta de Alcanede - P1 (A) e Pasta de Vendas Novas - P2 (B).

Cada pasta foi produzida com os dois métodos de produção diferentes, tendo o estudo provetes de quatro tipos diferentes: P1\_Lastra, P1\_Roda, P2\_Lastra e P2\_Roda, como se pode observar no design experimental da figura 3.3A. Para cada tipo diferente foram produzidos 12 provetes, em que 6 provetes foram inoculados com os dois fungos (em cada provete) e colocados em incubação para o desenvolvimento dos microrganismos, 3 provetes serviram para controle e foram colocados (sem fungos) no mesmo ambiente de incubação que os provetes inoculados e 3 provetes que se manterão intactos, ou seja na sua forma original, sem alterações.

Todos os provetes foram cozidos ao mesmo tempo a 1000°C, com duração de cerca de 3 horas e meia.. Na figura 3.3B podem observar-se os provetes já cozidos (corpo cerâmico) e dois moldes de cada pasta (sem cozedura), feitos a roda, onde podemos perceber as alterações de cor entre a mesma pasta antes e após cozedura.

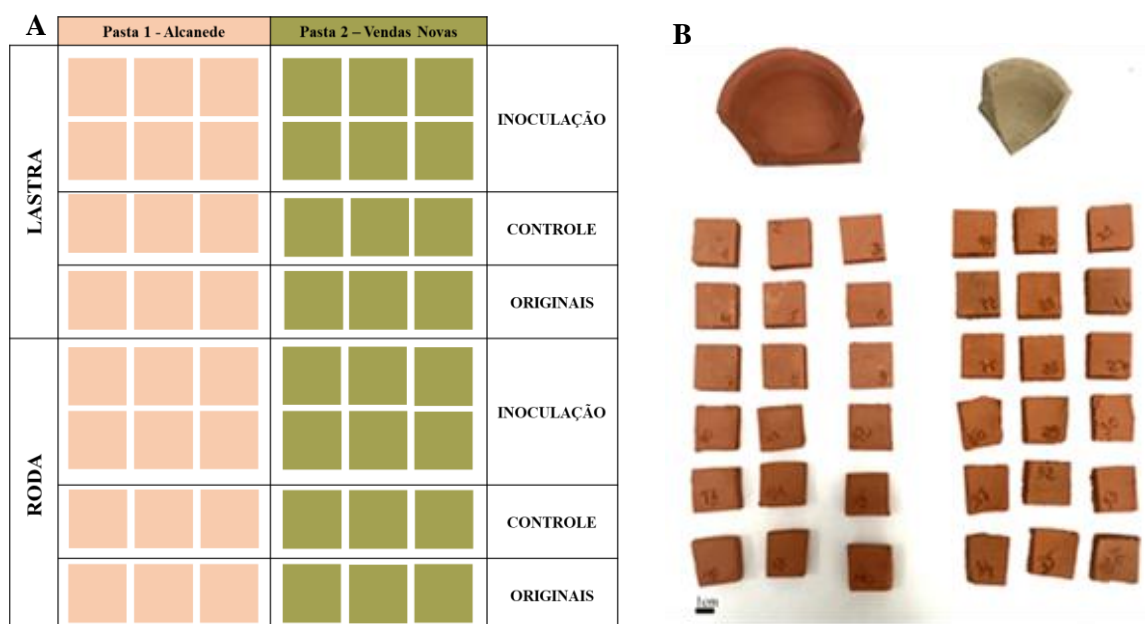


Figura 3.3. Design Experimental da produção de provetes e a sua função (A). Provetes já cozidos e amostra de cada pasta antes da cozedura (B).

### 3.3. Inoculação nos modelos cerâmicos

Para a inoculação colocaram-se 9 provetes (3 de controlo e 6 para a inoculação) de cada tipo, P1\_Lastra, P1\_Roda, P2\_Lastra e P2\_Roda (exemplificado na figura 3.4) , dentro de uma placa de petri de vidro que continha 45ml de água desionizada, sob uma rede de modo a não entrarem em contacto directo com a água. A água apenas servirá para criar um ambiente húmido de modo a que os microrganismos se desenvolvam. É importante referir que antes deste processo todas as placas foram esterilizadas em autoclave (a 121°C durante 15 minutos). Procedeu-se à inoculação nos 6 provetes cerâmicos de cada tipo, colocando as duas espécies de fungos lado a lado (lado esquerdo *Aspergillus versicolor* Vuill. e lado direito *Penicillium chrysogenum* Thom. Todo este processo foi realizado no interior de uma camara de fluxo laminar. Este modo de incubação para crescimento dos fungos sobre as amostras foi preparado de forma a manter o ambiente mais estéril possível e garantir a humidade necessária aos microrganismos estudados.

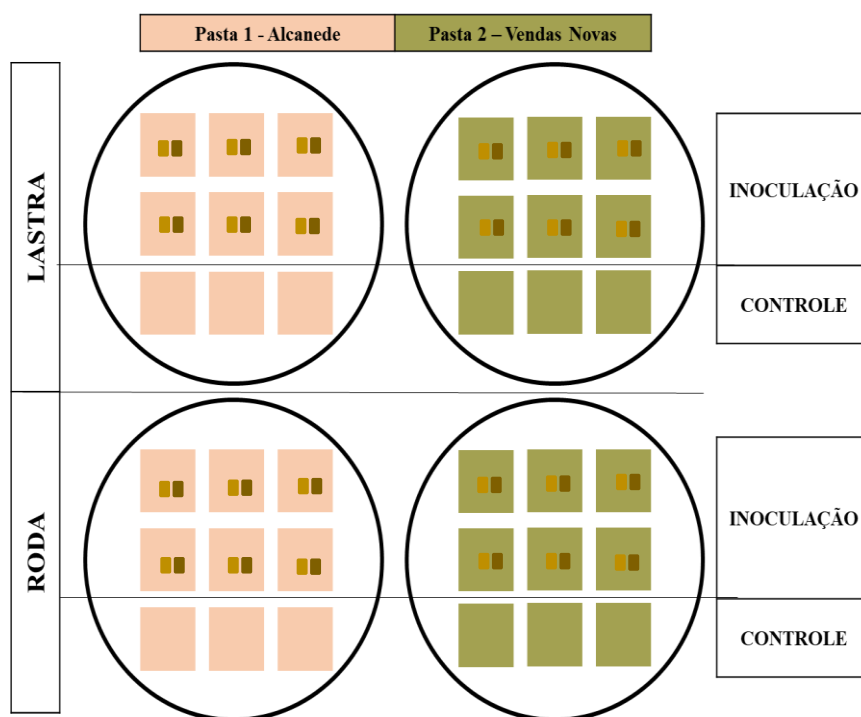


Figura 3.4. Esquema dos quatro modelos em estudo nas placas de petri para o período de incubação.

### 3.4. Caracterização dos provetes no seu estado inicial e após incubação dos fungos

As condições de análise das seguintes técnicas e protocolos estão descritas no Anexo II.

As análises realizadas serviram para caracterizar os diferentes provetes cerâmicos e estudar o desenvolvimento e alterações por parte dos fungos após o período de incubação (90 dias).

Realizou-se a caracterização dos provetes cerâmicos, através da micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF) de modo a conhecer a composição química de cada cerâmica, para tal realizaram-se análises quantitativas e através de Difração de Raio-X ( $\mu$ -XRD) para identificação das fases mineralógicas dos constituintes argilosos e não argilosos das pastas cerâmicas antes e após cozedura.

Os provetes “originais” (sem fungos, sem alterações) foram observados ao microscópio ótico (MO) com o principal objetivo de perceber as diferenças entre as superfícies dos diferentes tipos de provetes em estudo, pois esta característica pode influenciar o desenvolvimento e crescimento dos microrganismos, tendo em conta que consoante o tipo de pasta e método de produção pode ter-se uma superfície mais ou menos rugosa, homogénea ou heterogénea, entre outros.

Calculou-se a Porosidade Aberta de todos os tipos de provetes cerâmicos, pois esta reflete a absorção e movimentação de água dentro da estrutura dos poros, estando diretamente relacionada à disponibilidade de água para os microrganismos. Uma matriz com porosidade mais elevada será capaz de reter mais humidade e calor, o que poderá pressupor uma bioreceptividade maior <sup>[24]</sup>. Foi também medido o pH das duas cerâmicas pois é também um parâmetro que pode influenciar a colonização biológica. Para além disso pode sofrer alterações após o substrato ser colonizado, sendo esta uma deterioração química que pode levar a outros tipos de deterioração.

Realizaram-se análises de colorimetria com o intuito não só de caracterizar as cores das cerâmicas, mas também para perceber se após o tempo de incubação dos fungos nos provetes estes tiveram algum tipo de alteração de cor. Para a quantificação da cor, foram adotadas neste trabalho, as coordenadas cromáticas no sistema colorimétrico de referência CIE 1931, no espaço cromático uniforme CIEL\*a\*b\*.

O microscópio eletrônico de varrimento (SEM) é um tipo de microscópio que produz imagens da superfície de uma amostra, através do varrimento desta com um feixe focalizado de elétrons acelerados, os elétrons primários (PE). Recorreu-se a esta técnica para avaliar o desenvolvimento dos fungos e o potencial dano físico nas cerâmicas, tanto na superfície como no interior. Para tal fragmentaram-se os provetes em quatro, a partir do centro (onde se encontravam os fungos), estas foram revestidas na zona que se pretendia analisar com uma fina camada de alta condutividade (filme de ouro).

Tendo em conta que os fungos foram inoculados no centro dos provetes, realizaram-se análises nas margens da superfície destes de modo a perceber se os fungos se desenvolveram e se alastraram do centro para as margens e também na zona de corte, ou seja, a parte interior das amostras (corte transversal), de modo a perceber se os fungos penetraram na cerâmica.

Realizaram-se também análises elementares através do EDS para conhecer a composição das pastas e perceber se esta se alterou após incubação dos fungos.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Caracterização dos provetes cerâmicos

Realizaram-se várias análises de modo a caracterizar os diferentes tipos de provetes cerâmicos em estudo. Recorreu-se a análises de  $\mu$ -EDXRF,  $\mu$ -XRD e medições pH para caracterizar as cerâmicas produzidas com as duas pastas diferentes e à observação por microscópio ótico e ensaios de porosidade para caracterizar as cerâmicas produzidas com os diferentes métodos de produção, de modo a perceber se os métodos de produção fariam diferença nas propriedades da cerâmica como a superfície e a porosidade.

#### 4.1.1. Micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF)

Foi realizada a análise química quantitativa por micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF) aos provetes cerâmicos produzidos, de modo a analisar as duas pastas cerâmicas utilizadas na produção. Na Tabela 4.1 apresenta-se a média e desvio padrão dos valores obtidos para cada pasta cerâmica. Podemos notar que as pastas não têm uma composição muito diferente, tendo na sua composição os mesmos óxidos, que só em alguns casos têm valores ligeiramente diferentes, como os óxidos de alumínio, de potássio e de silício. Os seguintes óxidos,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{SrO}$  e  $\text{ZnO}$  foram detetados, no entanto foram quantificados com valores inferiores a 0,01% (m/m).

Tabela 4.1. Média e desvio padrão das concentrações dos óxidos presentes nas pastas cerâmicas em estudo.

Pasta_1 (N=3)			Pasta_2 (N=4)		
%(m/m)	Média	Desvio Padrão	%(m/m)	Média	Desvio Padrão
<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	20,0	0,58	<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	24,0	1,0
<b><math>\text{CaO}</math></b>	0,28	0,02	<b><math>\text{CaO}</math></b>	0,19	0,04
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	7,00	1,00	<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	7,00	1,26
<b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>	1,61	0,22	<b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>	4,04	1,96
<b><math>\text{PbO}</math></b>	0,01	<0,01	<b><math>\text{PbO}</math></b>	0,02	<0,01
<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	70,0	2,08	<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	64,0	0,50
<b><math>\text{TiO}_2</math></b>	1,10	0,67	<b><math>\text{TiO}_2</math></b>	0,95	0,14

#### 4.1.2. Difração de Raio-X ( $\mu$ -XRD)

Foram realizadas análises de  $\mu$ -XRD às amostras em pó das pastas cerâmica P1 e P2 e após a cozedura aos respetivos corpos cerâmicos com o objetivo de identificar as fases mineralógicas dos constituintes argilosos e não argilosos das pastas cerâmicas e dos corpos cerâmicos.

Na pasta P1 as principais fases cristalinas identificadas foram a mica/ilite, caulinite, feldspato potássico e quartzo, como se pode observar no gráfico da figura 4.1 . A pasta cerâmica P2 apresenta também como fases mineralógicas a mica/ilite, a caulinite, feldspato potássico, anatase e o quartzo, como se pode observar na figura 4.2. No entanto através do difractograma parece existir distinção na composição distinta relativamente aos principais minerais argilosos que compõem as duas pastas, sendo os minerais argilosos do grupo da caulinite bastante mais pronunciada na pasta P1 em relação à pasta P2. Os corpos cerâmicos após a cozedura da pasta apresentam como principais constituintes a ilite, mulite, quartzo e hematite (figura 4.1 e 4.2).

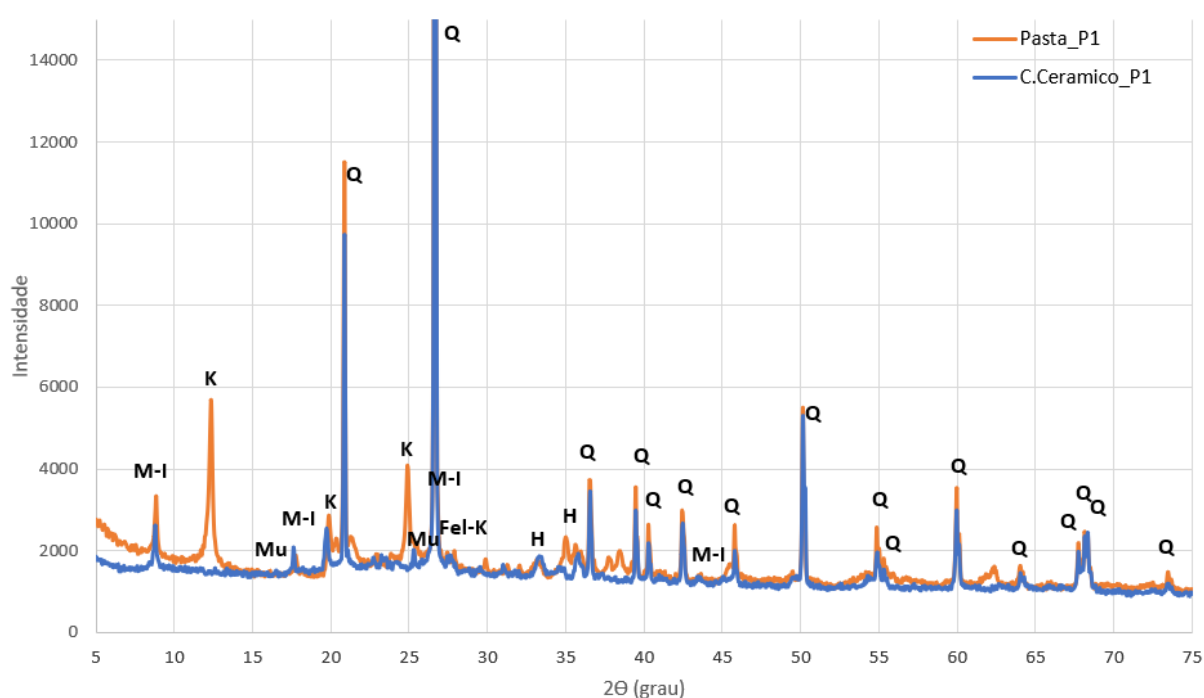


Figura 4.1. Detalhe do difractograma obtido para a amostra P1 antes (pasta cerâmica) e após cozimento (corpo cerâmico). Fel-K - Feldspato potássico; H - Hematite; K - Caulinite; M-I - Mica/ilite; Mu - Mulite; Q - Quartzo.

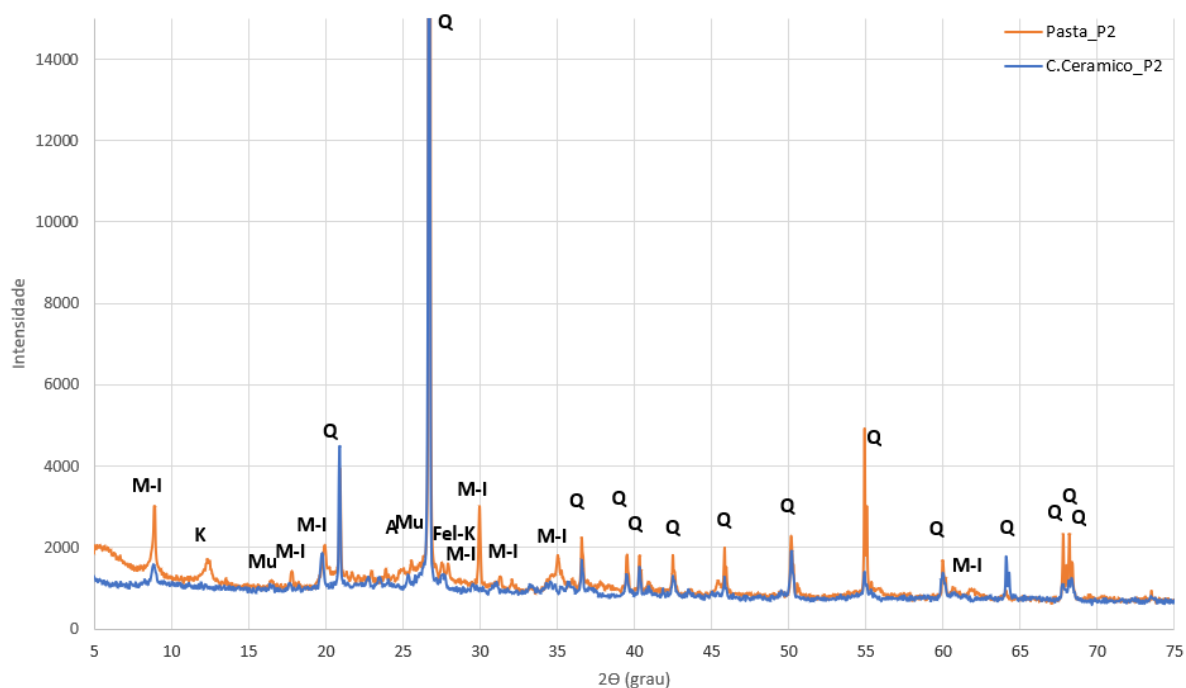


Figura 4.2. Detalhe do difractograma obtido para a amostra P2 antes (pasta cerâmica) e após cozimento (corpo cerâmico) - A - Anatase; K - Caulinite; M-I - Mica/illite; Mu - Mullite; Q - Quartzo.

#### 4.1.3. Medições de pH

Após as medições de pH realizadas obteve-se os seguintes valores para cada provete cerâmico no seu estado original (intactas, sem alterações), provete P1 pH= 6.85 e provete P2 pH= 7.45. O pH das pastas cerâmicas não é muito diferente (diferença de 0,6), ambas se encontram bastante perto do valor de pH neutro 7. O pH mais favorável ao desenvolvimento fúngico fica entre 5 e 7, porém a maioria dos fungos tolera amplas variações de pH<sup>[48]</sup>.

#### 4.1.4. Análise por Microscopia Ótica (MO)

Recorreu-se ao Microscópio Ótico para se analisar a superfície dos quatro tipos de provetes de modo a perceber se esta é diferente entre os quatro.

Ao observar-se a figura 4.3 comprova-se que a superfície cerâmica dos quatro tipos de provetes são diferentes, o que se deve ao facto de serem pastas diferentes produzidas com métodos diferentes, o que, como se sabe, é algo que pode ter não só influência no desenvolvimento dos microrganismos, mas também nas alterações que este possa fazer ao material.

Pode também notar-se através das imagens da figura 4.3 que existem diferenças na granulometria entre as duas pastas, esta pode influenciar propriedades como a plasticidade, textura, permeabilidade. O provete P1 aparenta ser uma pasta com os grãos mais pequenos e com dimensões mais semelhantes e que está mais compactada. As pastas cerâmicas de grão mais fino são geralmente mais plásticas e têm uma boa conformação da pasta o que permite moldá-las e compactá-las mais facilmente. Enquanto que o provete P2 tem grãos com dimensões mais variadas e alguns bastante grandes em comparação com os outros, o que torna a superfície mais heterogênea e rugosa. À partida, uma pasta com grãos de dimensões muito variadas terá uma porosidade mais



baixa do que uma pasta com grãos da mesma dimensão. A porosidade aberta irá ser apresentada mais á frente.

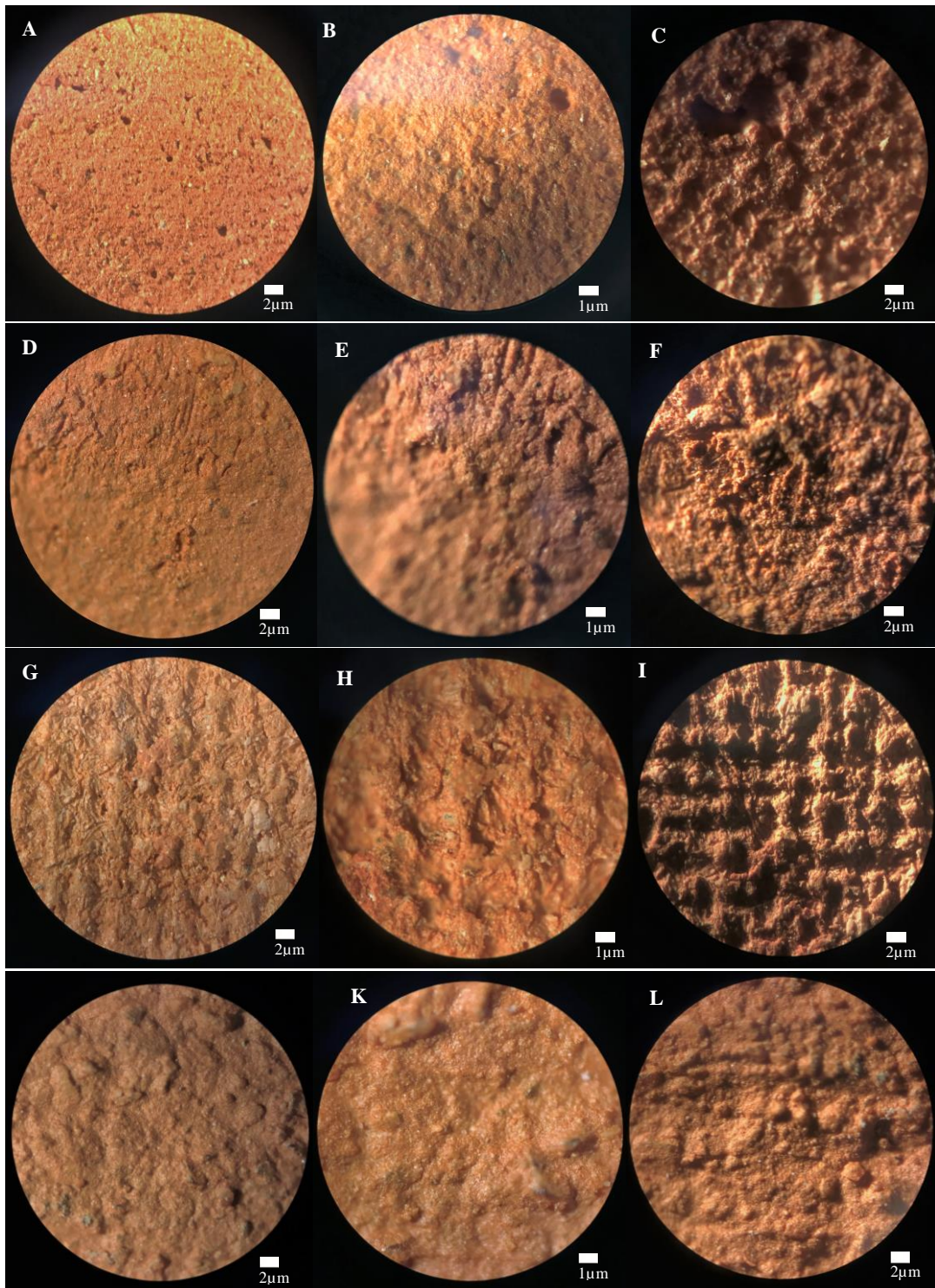


Figura 4.3. Imagens microscópicas da superfície cerâmica provete P1 a Lastra (A,B,C), provete P1 a Roda (D,E,F), provete P2 a Lastra (G,H,I) e provete P2 a Roda (J,K,L). Imagens do lado esquerdo e centro luz incidente, iamgens lado direito luz rasante. As imagens da esquerda e da direita foram obtidas com ampliação x50 e as imagens do centro com aplicações x100.



#### 4.1.5. Determinação da porosidade aberta

Realizaram-se ensaios de porosidade aos quatro tipos de provetes originais (intactos, sem alterações), onde se pode observar que a porosidade acessível à água (porosidade aberta) difere entre os corpos cerâmicos produzidos com pastas diferentes, os valores do provete P1 variam entre 31%-33% e dos provetes P2 entre 23%-25% (tabela 4.2).

Os valores de porosidade aberta entre os 3 provetes de cada modelo são idênticos (como seria de esperar) com diferenças de 1%. São também idênticos os valores de porosidade aberta entre o corpo cerâmico produzido com a mesma pasta, a técnica de produção não teve influência nos valores de porosidade aberta.

Tabela 4.2. Resultados dos Ensaios de Porosidade Aberta (%) dos quatro tipos de provetes cerâmicos iniciais (sem alterações).

Modelo Cerâmico	Porosidade Aberta (%)
<b>P1_Lastra</b>	33%
	31%
	32%
<b>P1_Roda</b>	31%
	32%
	32%
<b>P2_Lastra</b>	24%
	24%
	23%
<b>P2_Roda</b>	25%
	24%
	25%

## 4.2. Caracterização dos provetes após o período de incubação dos fungos

### 4.2.1. Análise Colorimétrica

Realizaram-se análises colorimétricas com o objetivo de perceber se os fungos provocaram alguma alteração de cor nos provetes cerâmicos. A diferença de cor é uma alteração muito comum, pois muitos fungos podem libertar pigmentos solúveis e insolúveis e também uma variedade de outros metabólitos que provocam descoloração <sup>[61]</sup>.

Após as análises de colorimetria calculou-se a diferença de cor total registada ( $\Delta E_{lab}$ ) da superfície cerâmica entre os provetes Controle e os provetes Inoculados com fungos. Como podemos observar na tabela 4.3 os valores da diferença de cor total registada ( $\Delta E_{lab}$ ) entre os provetes são muito variáveis entre si, não existindo sequer coerência nas diferenças de cor entre a mesma pasta. Tal pode estar relacionado com o facto de a cerâmica ser um material bastante heterogéneo, com bastantes grãos que podem ter cores diferentes e como tal provocar alterações nos resultados de cor.

À exceção de duas amostras (de pasta cerâmica e método de produção diferentes), os valores da diferença de cor total registada ( $\Delta E_{lab}$ ) foram superiores a 3 o que significa que se consegue notar diferença de cor à vista desarmada <sup>[60]</sup>.

Tabela 4.3. Parâmetros estatísticos das coordenadas colorimétricas registradas nos provetes Inoculados e nos provetes Controle, P1 e P2 produzidos a Lastra e Roda. Diferença de cor entre os provetes Controle e provetes Inoculados.

Provetes P1					
Lastra			Roda		
Inoculado					
NºAmostra ->		4	5	13	14
L*	Média	55.68	54.61	57.61	55.68
	Des.Padrão	0.113	0.090	0.113	0.136
a*	Média	24.43	25.11	23.52	22.82
	Des.Padrão	0.022	0.087	0.090	0.012
b*	Média	29.15	29.96	28.19	27.48
	Des.Padrão	0.097	0.019	0.164	0.102
Controle					
NºAmostra ->		8	9	15	17
L*	Média	52,50	54,73	54,06	53,67
	Des.Padrão	0,054	0,057	0,048	0,033
a*	Média	25,60	25,50	25,67	26,16
	Des.Padrão	0,026	0,037	0,016	0,041
b*	Média	28,81	29,41	28,94	29,59
	Des.Padrão	0,092	0,042	0,071	0,080
$\Delta Elab = \text{Controle} - \text{Inoculado}$ $\Delta Elab = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$		3,41	0,68	4,22	4,43
Provetes P2					
Lastra			Roda		
Inoculado					
NºAmostra ->		22	23	31	32
L*	Média	52.11	49.48	49.57	49.56
	Des.Padrão	0.016	0.048	0.127	0.073
a*	Média	18.42	22.91	26.46	21.16
	Des.Padrão	0.019	0.009	0.131	0.016
b*	Média	26.54	29.72	29.12	28.37
	Des.Padrão	0.022	0.021	0.684	0.177
Controle					
NºAmostra ->		23	26	34	36
L*	Média	46,14	46,30	51,32	50,19
	Des.Padrão	0,196	0,186	0,544	0,147
a*	Média	23,30	22,31	22,54	20,38
	Des.Padrão	0,054	0,244	0,258	0,052
b*	Média	28,11	26,05	30,60	27,76
	Des.Padrão	0,103	0,306	0,189	0,170
$\Delta Elab = \text{Controle} - \text{Inoculado}$ $\Delta Elab = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$		7,87	4,89	4,54	1,16

#### 4.2.2. Medições de pH

Após o período de incubação o pH foi novamente medido e em ambos os casos o pH aumentou ligeiramente como se pode observar na tabela 4.4, mas mantendo-se ainda assim dentro do pH próximo do pH neutro, na Pasta 1 aumentou 0.42 e na Pasta 2 0.58.

Tabela 4.4. Medições de pH para ambas as pastas, antes e depois do período de incubação.

	Pasta 1	Pasta 2
Provetes originais	6.85	7.45
Provetes após colonização biológica	7.27	8,03

#### 4.2.3. Determinação da porosidade aberta

Após o período de incubação realizou-se novamente os ensaios de porosidade de modo a comparar os valores de porosidade aberta antes e depois do período de incubação dos fungos (90 dias), constatou-se que nos 4 tipos de provetes não se observaram alterações significativas nos valores de porosidade aberta, a alteração máxima observada foi de 2% na pasta 1 (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Resultados dos Ensaios de Porosidade Aberta (%) dos 4 modelos cerâmicos Antes e Depois da incubação dos Fungos.

Modelo Cerâmico	Porosidade Aberta (%)	
	Antes	Depois
P1_Lastra	33%	31%
	31%	32%
	32%	31%
P1_Roda	31%	31%
	32%	31%
	32%	31%
P2_Lastra	24%	24%
	24%	25%
	23%	24%
P2_Roda	25%	25%
	24%	25%
	25%	25%

#### 4.2.4 Análise por microscopia eletrónica de varrimento (MEV = SEM)

Começou por se analisar a superfície dos provetes inoculados, onde o intuito foi perceber se o fungo se tinha desenvolvido e alastrado da zona central onde foram inoculados. Para tal analisaram-se áreas mais longe do centro, mais próximas às margens dos provetes. Na figura 4.4 podem observar-se quatro imagens de áreas afastadas da zona central e onde em todas se verifica a presença de fungos através das suas hifas e esporos, o que significa que os fungos se desenvolveram da zona central onde foram inoculados para a restante superfície dos provetes cerâmicos.

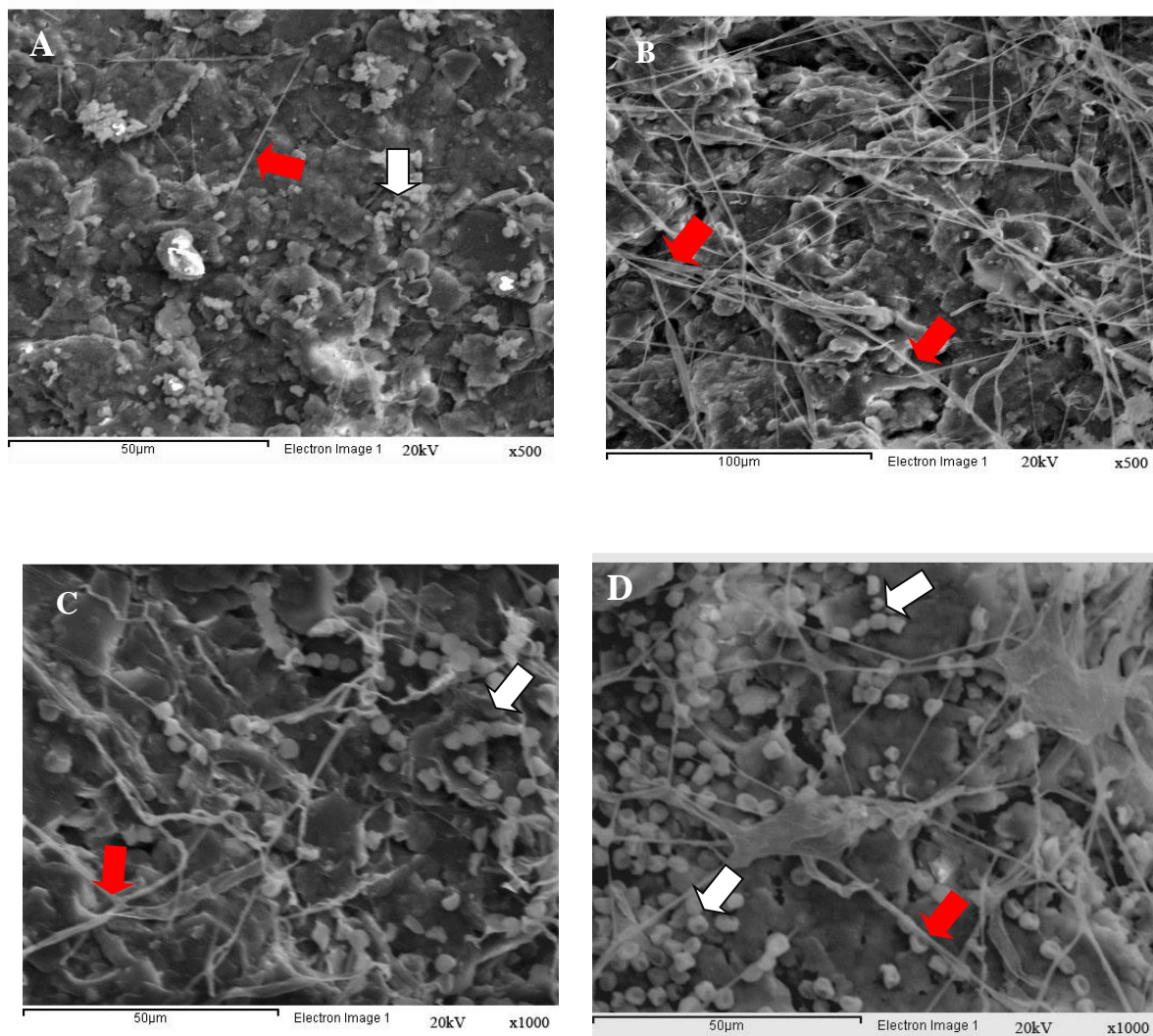
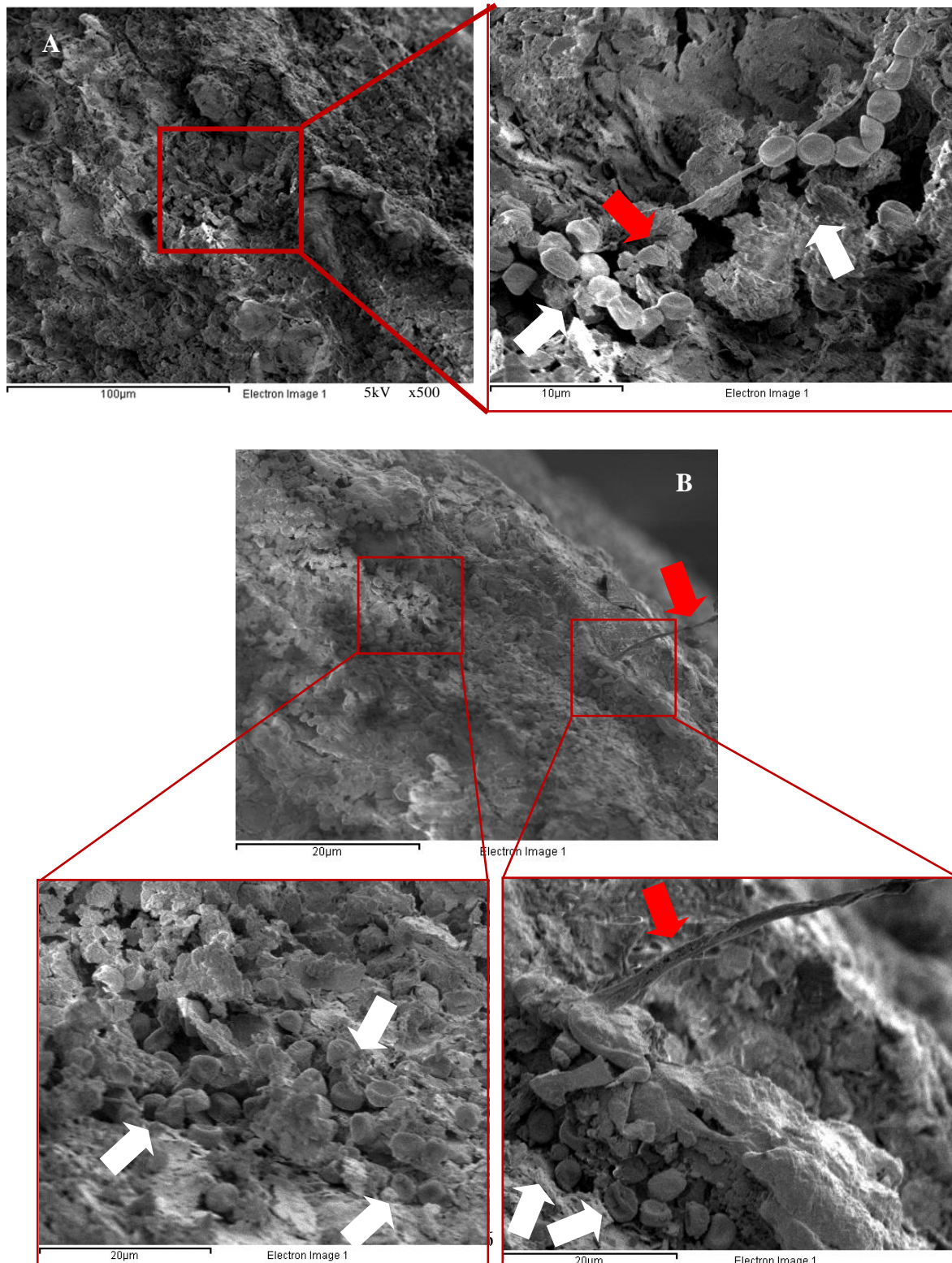


Figura 4.4. . Imagens de SEM do interior das amostras após 90 dias de incubação: P1\_Lastra (A, A1), P1\_Roda (B, B1, B2), P2\_Lastra (C) e P2\_Roda (D,E). Setas brancas indicam esporos e setas vermelhas indicam hifas.

Posteriormente analisou-se a zona interior dos provetes cerâmicos (foram cortados em quatro a partir do centro, zona onde foram inoculados os fungos) de modo a perceber se os fungos penetraram para o interior. A figura 4.3 mostra as imagens correspondentes a cada tipo de provete, onde podemos observar que em todos os tipos de provetes, os fungos após 90 dias (3 meses) de incubação penetraram para o interior da cerâmica entre 20 a 50 µm de profundidade.

À exceção dos provetes P2\_Lastra (fig.4.5-C), é possível observar que os fungos proliferaram para o interior da cerâmica através de esporos e hifas (fig. 4.5-A1, B1,B2, D). Nos provetes P2\_Lastra apenas se conseguiu obter a imagem da figura 15-C, pois foi a única zona onde se observam algumas hifas e estas estavam muito á superfície. Pode-se relacionar o facto de nos provetes P2\_Lastra a proliferação e penetração dos fungos através das suas hifas e esporos ter sido menor com o facto de os provetes P2 terem uma superfície mais heterogénea e rugosa e ser menos porosa, pois o facto de a superfície ser mais rugosa pode fazer com que os fungos fiquem agregados e ancorados à superfície e a menor porosidade pode fazer com que seja menos favorável a sua penetração e subsistência no interior da cerâmica.





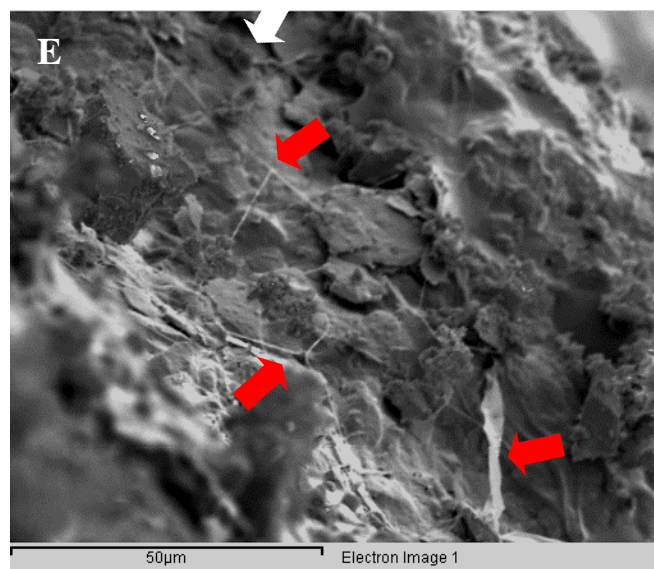
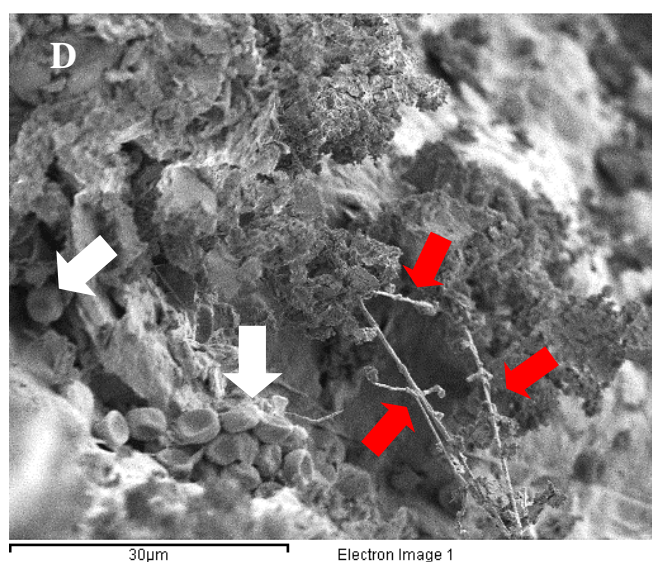
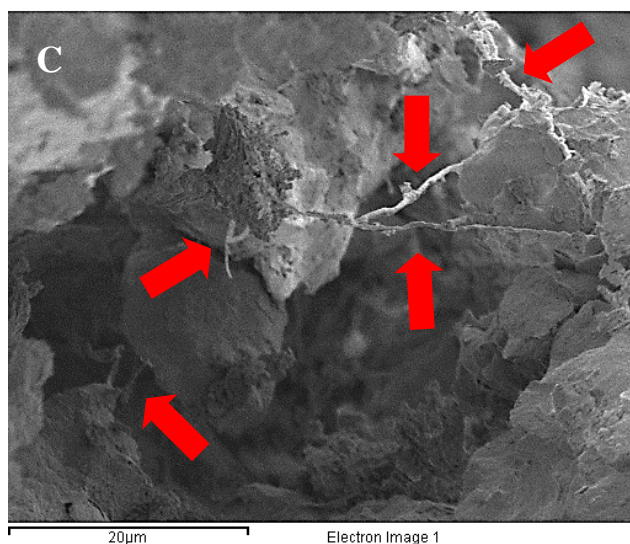


Figura 4.5. Imagens de SEM do interior das amostras após 90 dias de incubação: P1\_Lastra (A, A1), P1\_Roda (B, B1, B2), P2\_Lastra (C) e P2\_Roda (D,E). Setas brancas indicam esporos e setas vermelhas indicam hifas.

Foram também realizadas análises elementares através do BSE para tentar perceber se a composição química das pastas cerâmicas (Anexo III) se alterou após o período de incubação. Apesar de os fungos se terem desenvolvido e penetrado para o interior da cerâmica os resultados obtidos com esta análise não foram conclusivos e não se pode associar as alterações observadas nas composições a alterações devido aos fungos, pois as composições obtidas em amostras com fungos eram igualmente variáveis em amostras sem fungos.





## 5. Conclusões

Este estudo adveio da necessidade de se realizarem mais trabalhos na área da biodeterioração em cerâmicas sem revestimento, principalmente relativos a objetos utilitários e/ou decoração, que são ainda muito escassos nesta área. Como tal, o principal objetivo deste trabalho foi perceber se cerâmicas sem revestimento no seu estado inicial tinham o potencial de desenvolver colonização microbiológica (no caso fungos), de que forma as diferentes características das cerâmicas em estudo podem influenciar o seu desenvolvimento e influenciar ações de biodeterioração, pois as propriedades do material (composição, pH, salinidade, teor de matéria orgânica, rugosidade, porosidade, etc.) podem ter influência no desenvolvimento de microrganismos e na biodeterioração<sup>[3], [13], [14]</sup>.

Este estudo foi realizado através da inoculação por fungos em quatro tipos de cerâmica diferentes por um período de 90 dias, sendo que estes eram compostos por duas pastas cerâmicas diferentes e dois métodos de produção diferentes característicos da produção de objetos utilitários e/ou decoração.

Através das análises de  $\mu$ -EDXRF pode perceber-se que apesar de os provetes cerâmicos terem sido produzidos com pastas cerâmicas visualmente a sua composição química não se revelou muito diferente. No entanto através de imagens de microscópio ótico constatou-se que a superfície e granulometria das cerâmicas (produzidas com duas pastas diferentes) é desigual. A superfície do provete P1 apresenta grãos são mais pequenos e de dimensões mais semelhantes e aparenta ser um corpo cerâmico mais compacto, enquanto, que a o provete P2 apresenta grãos de dimensões mais variadas, alguns bastante grandes em comparação a outros, o que torna a superfície mais heterogênea e mais rugosa. A rugosidade superficial reflete o número de locais de ancoragem e micro-refúgios sendo uma característica que pode aumentar a capacidade de adesão e promover o estabelecimento de microrganismos. Por estas razões, cerâmicas cuja superfície levou algum tipo de revestimento, como por exemplo vidrado, que torna a superfície lisa e impermeável, serão cerâmicas mais resistentes à colonização microbiana do que cerâmicas sem revestimento<sup>[26]–[29]</sup>.

Outra característica que pode ter bastante influência é a porosidade e como se sabe a cerâmica é um material bastante poroso, no entanto a percentagem de porosidade depende do tipo de cerâmica, do tipo de argila/ pasta cerâmica e do método de produção<sup>[14], [23]</sup>. Uma matriz porosa mais alta será mais capaz de reter humidade e calor o que poderá pressupor maior potencial para o desenvolvimento de microrganismos<sup>[24]</sup>. Efetuaram-se primeiramente Ensaio de Porosidade aos provetes de cada modelo antes de incubação para perceber se os diferentes modelos tinham % de Porosidade diferentes, concluindo-se que as duas cerâmicas tinham porosidades ligeiramente diferentes mas que o método de produção não influenciou esta característica. No provete P1 a porosidade variou entre 31% e 33% e no provete P2 variou entre 23% e 25%. O provete P2 com granulometria mais heterogênea é a pasta com porosidade mais baixa.

Realizaram-se também análises ao pH as duas cerâmicas que pode também influenciar a colonização biológica, sendo que os valores de pH que favorecem o desenvolvimento fúngico são entre 5 e 7. Obteve-se valores de pH não muito diferentes, ambos perto do pH neutro, a P1 tem pH=6.85 e a P2 pH=7.45.

Um dos principais problemas causados por fungos no património cultural é a alteração de cor nos substratos que podem mudar significativamente a sua aparência e como tal o seu significado

cultural. Por esse motivo tentou perceber-se se após o período de 90 dias de incubação dos fungos estes promoviam alterações significativas na cor dos modelos cerâmicos. À exceção de duas amostras (de pasta e método de produção diferente- modelo P1\_Lastra e modelo P2\_Roda) os valores da diferença de cor total registada ( $\Delta E_{lab}$ ) foi superior a 3, o que significa que se consegue notar alguma diferenças de cor<sup>[12]</sup>. É importante referir que os valores da diferença de cor total registada ( $\Delta E_{lab}$ ) entre todos os modelos são muito variáveis entre si, e como tal não podendo fazer correlações. O facto de os valores serem muito variáveis mesmo entre cerâmicas produzidas com a mesma pasta cerâmica e método de produção, pode estar relacionado com o facto de a cerâmica ser um material bastante heterogéneo, com grãos de cores variáveis quer podem alterar os resultados de cor.

O pH pode sofrer alterações após o substrato ser colonizado por microrganismos, sendo esta uma deterioração química que pode levar a outros tipos de deterioração, por esse motivo realizaram-se novamente análises de pH nas cerâmicas após o período de incubação. Constatou-se que o pH se alterou ligeiramente em ambas as cerâmicas, a P1 aumentou para um pH= 7.27 e a P2 para pH=8.03. O aumento foi então de 0.42 (P1) e 0.58 (P2), também muito semelhante em ambas as cerâmicas.

Após o período de Inoculação dos fungos realizou-se também novamente os ensaios de Porosidade Aberta, de modo a perceber se esta se tinha alterado não se tendo verificado alterações significativas em nenhum dos modelos.

Por fim, mas uma das técnicas que se revelou mais importante, o SEM, permitiu através de imagens, perceber que efetivamente os fungos se desenvolveram não só na superfície, da zona central onde foram inoculados para as margens (mesmo não se vendo à vista desarmada), mas também para o interior da cerâmica, tendo penetrado a cerâmica entre 20 a 50  $\mu\text{m}$  após o período de 90 dias. À exceção do modelo P2\_Lastra os fungos proliferaram através de esporos e hifas. O modelo P2\_Lastra apenas penetrou através de hifas muito superficialmente. Tal pode estar relacionado ao facto de os provetes P2 terem uma superfície mais heterogénea e rugosa e ser menos porosa, pois o facto de a superfície ser mais rugosa pode fazer com que os fungos fiquem agregados e ancorados à superfície e a menor porosidade pode fazer com que seja menos favorável a sua penetração e subsistência no interior da cerâmica

Foram também realizadas análises elementares através do BSE para tentar perceber se a composição química das pastas cerâmicas se alterou após o período de incubação. Apesar de os fungos se terem desenvolvido e penetrado para o interior da cerâmica os resultados obtidos não podiam ser associados a alterações devido aos fungos, pois as composições obtidas em amostras com fungos eram igualmente variáveis em amostras sem fungos e as composições não eram muito diferentes.

Após a discussão de todas as análises, conclui-se que nas alterações das propriedades analisadas não se verificou diferenças significativas entre os tipos de provetes cerâmicos em estudo, todas as alterações foram ligeiras, não existindo nenhum tipo de provete que sofresse mais alterações que outro. À exceção da penetração por parte dos fungos na cerâmica, que foi menor no provete P2\_Lastra, levando-nos a concluir que maior rugosidade e menor porosidade, pode significar menor suscetibilidade de penetração por parte dos fungos nas cerâmicas.

Apesar da penetração para o interior das cerâmicas ter sido muito superficial, é importante ter em conta que este dano ocorreu em apenas 90 dias em cerâmicas não degradadas e em ambiente controlado. Se tivermos em consideração que as cerâmicas históricas e/ou arqueológicas muitas vezes se encontram fragilizadas e deterioradas devido ao uso, intempérie, entre outros, são fatores que as tornam ainda mais suscetíveis à agregação e desenvolvimento de microrganismos. Muitas vezes em casos de cerâmicas arqueológicas, os objetos são limpos após a sua escavação, podendo assim remover-se os microrganismos alojados à superfície, fazendo com que quando os objetos chegam às instituições, sejam guardados sem ter em conta a possibilidade da proliferação de microrganismos, já que geralmente não se tem conhecimento de que estes objetos possam estar contaminados. Desta forma os microrganismos continuam no interior das cerâmicas, não se sabendo à quanto tempo, podendo estar a deteriorar a cerâmica a partir do seu interior.

Casos deste género já foram descritos em estudos, em que quando as cerâmicas chegaram às instituições não aparentavam exteriormente ter qualquer problema, no entanto passado algum tempo detetaram colonização no exterior, pois durante o tempo de armazenamento esta voltou a desenvolver-se do interior para o exterior. Nestes estudos foi concluído que a colonização era efetivamente de origem anterior, proveniente do contexto de enterro<sup>[37]–[39]</sup>.

É de reforçar a importância da continuidade deste tipo de estudos, nomeadamente estudos de biodiversidade em objetos de cerâmica utilitários/decorativos arqueológicos, estudos de biodeterioração em objetos cerâmicos utilitários/decorativos arqueológicos, e proceder a um estudo de comparação entre provetes cerâmicos novos e provetes cerâmicos degradados e/ou provenientes de contexto arqueológico e aplicar os estudos a outros tipos de microrganismos.



## 6. Referências

- [1] A. Mântua *et al.*, *Normas de inventário de cerâmica, Artes Plásticas e Artes Decorativas.*, Costa, Pau. Instituto dos Museus e da Conservação, 2007.
- [2] D. Rhodes, *Clay and Glazes for the Potter*. 2015.
- [3] M. L. Coutinho, A. Z. Miller, and M. F. Macedo, “Biological colonization and biodeterioration of architectural ceramic materials: An overview,” *J. Cult. Herit.*, vol. 16, no. 5, pp. 759–777, 2015.
- [4] M. I. Carretero, M. Dondi, B. Fabbri, and M. Raimondo, “The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 20, no. 6, pp. 301–306, 2002.
- [5] P. V. Kirch, *Ceramics in Archaeology*, Second Edi., vol. 3. Elsevier, 2001.
- [6] J. A. Bogas, “Materiais Cerâmicos,” 2013.
- [7] B. Sentance, *Ceramics, A world guide to traditional techniques*. United Kingdom: Thames & Hudson Ltd, 2004.
- [8] D. Barker and T. Majewski, “Ceramic studies in historical archaeology,” *Cambridge Companion to Hist. Archaeol.*, pp. 205–232, 2006.
- [9] P. Sciau and P. Goudeau, “Ceramics in art and archaeology: a review of the materials science aspects,” *Eur. Phys. J. B*, vol. 88, no. 5, 2015.
- [10] M. das D. Cruz and V. H. Correia, *Cerâmica utilitária-Normas de inventário*. Instituto dos Museus e da Conservação, 2007.
- [11] V. L. Oakley and K. K. Jain, *Essentials in the Care and Conservation of Historical Ceramic Objects*. London: Archetype Publication Ltd, 2002.
- [12] M. J. Feliu, M. C. Edreira, and J. Martín, “Application of physical-chemical analytical techniques in the study of ancient ceramics,” *Anal. Chim. Acta*, vol. 502, no. 2, pp. 241–250, 2004.
- [13] M. Radeka, J. Ranogajec, J. Kiurski, S. Markov, and R. Marinković-Nedučin, “Influence of lichen biocorrosion on the quality of ceramic roofing tiles,” *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 27, no. 2–3, pp. 1763–1766, 2007.
- [14] M. Radeka, J. Kiurski, S. Markov, R. Marinković-Neduin, and J. Ranogajec, “Microbial deterioration of clay roofing tiles,” *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 95, pp. 567–575, 2007.
- [15] H. Hueck, “The biodeterioration of materials as part of hylobiology.” MasterOrg, pp. 5–34, 1965.
- [16] L. E. Castrillón Rivera, A. P. Ramos, J. I. Castañeda Sánchez, and M. E. D. Serrano, “Origin and Control Strategies of Biofilms in the Cultural Heritage,” *Intech open*, vol. 2, p. 64, 2018.
- [17] F. A. Silva and S. C. Lima, “Etnoarqueologia, conservação arqueológica e compreensão dos processos de formação do registro arqueológico na Amazônia: a cerâmica dos Asurini do Xingu, Pará,” *Rev. Arqueol.*, vol. 28, no. 1, pp. 123–142, 2015.
- [18] J. Dong Gu and R. Mitchell, “Biodeterioration,” in *The Prokaryotes*, New York: Springer, 2006, pp. 864–903.
- [19] G. Ranalli, E. Zanardini, and C. Sorlini, “Biodeterioration – Including Cultural Heritage,” *Encycl. Microbiol.*, no. August 2017, pp. 191–205, 2009.
- [20] S. Buys and V. Oakley, *The Conservation and Restoration of Ceramics, Butterworth-Heinemann series in conservation and museology*. Butterworth-Heinemann, 1996.
- [21] R. Neducin-Marinkovic, J. Ranogajec, M. Radeka, V. Ducman, and A. S. Skapin, “The effect of firing temperature of clay roofing tiles on the mechanisms of frost action,” *Ind. Ceram.*, vol. 20, no. September, pp. 97–104, 2008.
- [22] Qi-Wang, G. Y. Ma, L. Y. He, and X. F. Sheng, “Characterization of bacterial community inhabiting the surfaces of weathered bricks of Nanjing Ming city walls,” *Sci. Total Environ.*, vol. 409, no. 4, pp. 756–762, 2011.
- [23] O. Guillitte, “Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies,” *Sci. Total Environ.*, vol. 167, no. 1–3, pp. 215–220, 1995.
- [24] P. S. Guiamet, D. M. Soto, and M. Schultz, “Bioreceptivity of archaeological ceramics in an arid region of northern Argentina,” *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, no. December 2017, pp. 0–1, 2018.
- [25] R. Koestler, T. Warscheid, and F. Nieto, “Biodeterioration: risk factors and their management,” *Sav. Our Archit. Herit. Conserv. Hist. Stone Struct.*, no. January, pp. 25–36, 1997.

- [26] M. Coutinho, "Biological colonization on majolica glazed tiles : biodeterioration , bioreceptivity and [ Nome completo do mitigation Orientador :]" 2015.
- [27] M. F. Gazulla, E. Sánchez, J. M. González, M. C. Portillo, and M. Orduña, "Relationship between certain ceramic roofing tile characteristics and biodeterioration," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 31, no. 15, pp. 2753–2761, 2011.
- [28] M. C. Portillo, M. F. Gazulla, E. Sanchez, and J. M. Gonzalez, "A procedure to evaluate the resistance to biological colonization as a characteristic for product quality of ceramic roofing tiles," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 31, no. 3, pp. 351–359, 2011.
- [29] D. M. Soto, P. B. Battistoni, and P. S. Guiamet, "Estudio del Biodeterioro en la cerámica arqueológica del Valle de Antinaco Central, La Rioja, Argentina," 2016, vol. 3, no. 2, pp. 113–115.
- [30] W. Sand, "Microbial Mechanisms of Deterioration of Inorganic Substrats - A General Mechanistic Overview," *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 40, n° 2-4, pp. 183–190, 1997.
- [31] W. Sand, P. Jozsa, and R. Mansch, "Weathering, Microbiol," in *Encycl. Environ. Microbiol.*, John Wiley & Sons, 2002, pp. 3364–3375.
- [32] J. M. Mimoso, A. S. Silva, D. R. Costa, T. D. Gonçalves, and S. X. Coentro, "Decay of historic azulejos in Portugal : an assessment of research needs." LNEC, Lisboa, 2011.
- [33] A. Baricza, B. Baknóczy, M. Tóth, and C. Szabó, "Deterioration of building ceramics by environmental factor - A case study on Zsolnay ceramics from the museum of applied arts (Budapest)," *Deterior. Build. Ceram. by Environ. faactors*, no. May 2014, pp. 1–6, 2012.
- [34] Z. Hassan and S. N. Harun, "Preservation of Malay Singgora Roof," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 729–738, 2013.
- [35] T. Warscheid and J. Braams, "Biodeterioration of stone: A review," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 46, no. 4, pp. 343–368, 2000.
- [36] M. F. Macedo, A. Z. Miller, A. Dionísio, and C. Saiz-Jimenez, "Biodiversity of cyanobacteria and green algae on monuments in the Mediterranean Basin: An overview," *Microbiology*, vol. 155, no. 11, pp. 3476–3490, 2009.
- [37] P. Silva Azevedo, A. V. Kuss, E. Bernardi, K. Caldas Velleda, and R. Milheira, "Cultivo e Isolamento de Microrganismos presentes em cerâmicas arqueológicas no ambiente do LEPAARQ/UFPEL, na ótica da CONservação Preventiva," *Revista de Arqueologia*, vol. 31, nº1, Pelotas, Brasil, 2018.
- [38] K. Colonna-preti and P. Eeckhout, "The Bacteriological Contamination of Archaeological Ceramics : an Example from Pachacamac ( Peru )," pp. 205–213.
- [39] P. Nunes, "Estudo de comunidades microbianas presentes em amostras arqueológicas." Universidade de Évora\_ESCOLA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, Évora, 2017.
- [40] D. M. Soto, P. S. Guiamet, and A. B. Callegari, "BIODETERIORO DE CERÁMICA ARQUEOLÓGICA DE SUPERFICIE POR MICROORGANISMOS DE CLIMAS ÁRIDOS Y SEMI-ÁRIDOS EN EL VALLE DE ANTINACO CENTRAL, LA RIOJA," in *Investigaciones arqueométricas: Técnicas y procesos*, A. Rocchietti, F. Ribero, and D. Reinoso, Eds. Aspha Ediciones, 2017, pp. 121–137.
- [41] D. Soto, "DETERIORO DE FRAGMENTOS CERÁMICOS POR LA ACCIÓN DE LÍQUENES," in *Arqueometría argentina Metodologías científicas aplicadas al estudio de los bienes culturales Datación, caracterización, prospección y conservación*, Argentina: Aspha Ediciones, 2013, pp. 207–220.
- [42] D. M. Soto and P. S. Guiamet, "Aplicabilidad de la conservación preventiva a la cerámica arqueológica impactada por biodeterioro," *Cuad. del Inst. Nac. Antropol. y Pensam. Latinoam. - Ser. Espec.*, vol. 5, no. 2, pp. 71–90, 2017.
- [43] J. S. Kiurski, J. G. Ranogajec, A. L. Ujhelji, M. M. Radeka, and M. T. Bokorov, "Evaluation of the effect of lichens on ceramic roofing tiles by scanning electron microscopy and energy-dispersive spectroscopy analyses," *Scanning*, vol. 27, no. 3, pp. 113–119, 2005.
- [44] J. Pena-Poza *et al.*, "Effect of biological colonization on ceramic roofing tiles by lichens and a combined laser and biocide procedure for its removal," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 126, no. October 2017, pp. 86–94, 2018.
- [45] A. S. Jones, "El biodeterioro en el patrimonio arquitectónico de Antioquia," *Prev. y Prot. Prot. del Patrim. Prev. Cult. Iberoam. los efectos del biodeterioro Ambient.*, pp. 143–153, 2002.
- [46] G. Gómez-Alarcón, B. Cilleros, M. Flores, and J. Lorenzo, "Microbial communities and alteration processes in monuments at Alcala de Henares, Spain," *Sci. Total Environ.*, vol. 167, no. 1–3, pp. 231–

239, 1995.

- [47] A. Elserogy, G. Kanan, E. Hussein, and S. A. Khreis, "Isolation, characterization and treatment of microbial agents responsible for the deterioration of archaeological objects in three Jordanian museums," *Mediterr. Archaeol. Archaeom.*, vol. 16, no. 1, pp. 117–126, 2016.
- [48] P. Nicolau, "MICROORGANISMO E AMBIENTE : AR E ÁGUA , SOLO E EXTREMOS." Universidade Aberta, 2016.
- [49] K. Sterflinger, "Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage," *Fungal Biol. Rev.*, vol. 24, no. 1–2, pp. 47–55, 2010.
- [50] J. Garcia-Rowe and C. Saiz-Jimenez, "Lichens and bryophytes as agents of deterioration of building materials in Spanish cathedrals," *Int. Biodeterior.*, vol. 28, no. 1–4, pp. 151–163, 1991.
- [51] A. A. Gorbushina, "Life on the rocks," *Environ. Microbiol.*, vol. 9, no. 7, pp. 1613–1631, 2007.
- [52] C. Urzì and M. Realini, "Colour changes of Noto's calcareous sandstone as related to its colonisation by microorganisms," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 42, no. 1, pp. 45–54, 1998.
- [53] R. J. Palmer and P. Hirsch, "Photosynthesis-based microbial communities on two churches in northern germany: Weathering of granite and glazed brick," *Geomicrobiol. J.*, vol. 9, no. 2–3, pp. 103–118, 1991.
- [54] P. Lopez-Arce and J. Garcia-Guinea, "Weathering traces in ancient bricks from historic buildings," *Build. Environ.*, vol. 40, no. 7, pp. 929–941, 2005.
- [55] P. López-Arce, J. García-Guinea, and J. L. G. Fierro, "Manganese micro-nodules on ancient brick walls," *Sci. Total Environ.*, vol. 302, no. 1–3, pp. 267–274, 2003.
- [56] S. Mandal and J. Rath, "Algal colonization and its ecophysiology on the fine sculptures of terracotta monuments of Bishnupur, West Bengal, India," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 84, pp. 291–299, 2013.
- [57] M. D. Cheng, S. M. Pfiffner, W. A. Miller, and P. Berdahl, "Chemical and microbial effects of atmospheric particles on the performance of steep-slope roofing materials," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 5, pp. 999–1010, 2011.
- [58] R. A. Kühnel, "Cause and consequence: Volume changes behind building material deterioration," *Mater. Charact.*, vol. 53, no. 2–4, pp. 171–180, 2004.
- [59] S. Görs, R. Schumann, N. Häubner, and U. Karsten, "Fungal and algal biomass in biofilms on artificial surfaces quantified by ergosterol and chlorophyll a as biomarkers," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 60, no. 1, pp. 50–59, 2007.
- [60] W. Mokrzycki and M. Tatol, "Colour difference  $\delta E$  - A survey," *Mach. Graph. Vis.*, no. 4, pp. 14–15, 2011.
- [61] D. Allsopp, K. J. Seal, C. C. Gaylarde, D. Allsopp, K. J. Seal, and C. C. Gaylarde, *Introduction To Biodeterioration*, 2nd ed. 2004.
- [62] L. L. Laiz, J. M. J. Gonzalez, C. C. Saiz-Jimenez, M. C. M. Portillo, M. F. Gazulla, and E. Sanchez, "Microbial assessment of the biological colonization on roofing tiles," *Heritage, Weather. Conserv. Taylor Fr. London*, pp. 349–353, 2006.
- [63] A. Otlewska, J. Adamiak, and B. Gutarowska, "Clone-based comparative sequence analysis of 16S rRNA genes retrieved from biodeteriorating brick buildings of the former Auschwitz II-Birkenau concentration and extermination camp," *Syst. Appl. Microbiol.*, vol. 38, no. 1, pp. 48–55, 2015.
- [64] L. K. Herrera and H. A. Videla, "The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 54, no. 2–3, pp. 125–134, 2004.
- [65] H. A. Videla, "La Catedral de la Plata. Obras de conservación, puesta en valor y completamiento. Biodeterioro: su prevención," *Prev. y Prot. Prot. del Patrim. Prev. Cult. Iberoam. los efectos del biodeterioro Ambient.*, pp. 111–123, 2002.
- [66] J. Ettennauer, K. Piñar, GuadalupeLopandic, G. Spangl, Bernhard D.Ellersdorfer, C. Voithl, and K. Sterflinger, "Microbes on building materials — Evaluation of DNA extraction protocols as common basis for molecular analysis," *Sci. Total Environ.*, vol. 439, pp. 44–53, 2012.
- [67] N. K. Chua, S. W. Kwok, K. K. Tan, S. P. Teo, and H. A. Wong, "Growth on concrete and other similar surfaces in Singapore," *J. Singapore Inst. Archit.*, vol. 51, pp. 13–15, 1972.
- [68] D. John, "Algal growth on builings: a review and methods of treatment," *Biodeterioration*, vol. Abstr.2, pp. 81–102, 1988.
- [69] L. Tomaselli, G. Lamenti, M. Bosco, and P. Tiano, "Biodiversity of photosynthetic micro-organisms dwelling on stone monuments," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 46, no. 3, pp. 251–258, 2000.

- [70] B. Uher, M. Aboal, and L. Kovacik, "Epilithic and chasmoendolithic phycoplora of monuments and buildings in South-Eastern Spain," *Cryptogam. Algal*, vol. 26(3), pp. 275–358, 2005.
- [71] P. Nowicka-Krawczyk *et al.*, "Diversity of an aerial phototrophic coating of historic buildings in the former Auschwitz II-Birkenau concentration camp," *Sci. Total Environ.*, vol. 493, pp. 116–123, 2014.
- [72] L. K. Samad and S. P. Adhikary, "Diversity of Micro-algae and Cyanobacteria on Building Facades and Monuments in India Lakshmi Kumari Samad and Siba Prasad Adhikary \*," *Del*, vol. 23, no. 2, pp. 91–114, 2008.
- [73] B. Pattanaik and S. P. Adhikary, "Blue-green algal flora at some archaeological sites and monuments of India," *Feddes Repert.*, vol. 113, no. 3–4, pp. 289–300, 2002.
- [74] J. J. Ortega-Calvo, M. Hernandez-Marine, and C. Saiz-Jimenez, "Biodeterioration of Building Materials by Cyanobacteria and Algae," *Biodeterior. Int. Nat.*, vol. 28, pp. 165–185, 1991.
- [75] T. K. Dan, V. P. Shreedharan, M. Patel, and P. K. Rohtagi, "Mechanism of blackening of tile surface ceramic," *Ind. J India*, 1981.
- [76] J. J. Ortega-Calvo, P. M. Sanchez-Castillo, M. Hernandez-Marine, and C. Saiz-Jimenez, "Isolation and characterization of epilithic chlorophytes and cyanobacteria from two Spanish cathedrals (Salamanca and Toledo)," *Hedwigia*, vol. 57, pp. 239–253, 1993.
- [77] K. Rajkowska *et al.*, "Assessment of biological colonization of historic buildings in the former Auschwitz II-Birkenau concentration camp," *Ann. Microbiol.*, vol. 64, no. 2, pp. 799–808, 2014.
- [78] A. Hyvärinen, T. Meklin, A. Vepsäläinen, and A. Nevalainen, "Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials - Concentrations and diversity," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 49, no. 1, pp. 27–37, 2002.
- [79] F. Rindi, M. D. Guiry, R. P. Barbiero, and F. Cinelli, "THE MARINE AND TERRESTRIAL PRASIOLALES (CHLOROPHYTA) OF GALWAY CITY, IRELAND: A MORPHOLOGICAL AND ECOLOGICAL STUDY1," *J. Phycol.*, vol. 35, no. 3, pp. 469–482, 1999.
- [80] V. Raimondi *et al.*, "The fluorescence lidar technique for the remote sensing of photoautotrophic biodeteriogens in the outdoor cultural heritage: A decade of in situ experiments," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 63, no. 7, pp. 823–835, 2009.
- [81] F. Gladis and R. Schumann, "Influence of material properties and photocatalysis on phototrophic growth in multi-year roof weathering," *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 65, no. 1, pp. 36–44, 2011.
- [82] S. Saxena, D. K. Upreti, A. Singh, and K. P. Singh, "Observations on lichens growing on artifacts in the Indian Subcontinent," *L.L. St. Clair, M.R.D. Seaward (Eds.), Biodeterioration of Stone Surfaces*, Dordrecht, pp. 181–193, 2004.
- [83] I. Torres, P. Faria, and G. Matias, "Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de cal aérea," *Construlink*, vol. 35, no. 12, pp. 4–15, 2014.
- [84] L. Na. de E. C. LNEC, "PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF HISTORIC PORTUGUESE TILES: RELATÓRIO 23/2011 – NPC/NMM," Lisboa, 2011.
- [85] I. Póvoas and M. F. Barral, "Métodos de análise de solos," in *Série de Ciências agrárias*, vol. nº 10, Lisboa, Portugal: Instituto de Investigação Científica Tropical, Ministério de Planeamento e da Administração do Território, 1992.



## ANEXO I – Tabela de sistematização dos microrganismos identificados em todos os estudos da mini-revisão da literatura sobre Microrganismos identificados em cerâmicas não vidradas

Tabela I.1. Tabela de sistematização dos microrganismos identificados em todos os estudos da mini-revisão da literatura sobre Microrganismos identificados em cerâmicas não vidradas.

Microrganismos	Objeto	Local	Tipo de estudo	Referência
<b>BACTÉRIAS</b>				
<i>Acetobacter</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Achromobacter agilis.</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Achromobacter piechaudii</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Acinetobacter</i>	Frag. De ânforas utilizadas para armazenamento de alimentos	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Acinetobacter, junii</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Actinomadura</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
Actinobactéria	Telhas de barro	USA	Biodiversidade	[57]
<i>Actinobacterium</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Alcaligenes sp</i>	Telhas de Barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Arthrobacter sp</i>	Telhas de Barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Azospirillum sp.</i>	Telhas de Barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Bacillus sp.</i>	Potes de cerâmica arqueológica	Pachacamac Site Museum (MSPACH), Peru.	Biodiversidade, Biodeterioração E Restauro	[38]
	Tijolos de Barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodiversidade E Biodeterioração	[46]
	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
	Telhas de Barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade	[62]

			E Bioreceptividade	
<i>Bacillus, actrophaeus</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Bacillus aquimaris</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Bacillus, drentensis</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Bacillus firmus</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Bacillus fusiformis</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Bacillus licheniformis</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Bacillus megaterium</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Bacillus niabensis</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Bacillus simplex</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
Bacteroidetes	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Blastococcus sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Brevibacillus agri</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Brevibacterium sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Brevundimonas sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Cellulomonas sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
Chloroflex	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Chryseobacterium</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Comamonas</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Deinococcus sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Deinococcus maricopenensis</i>	Tijolos de Barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
Deltaproteobacteria	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Duganella</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]

<i>Epsilonproteobacteria</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Ewingella</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Firmicutes</i>	Telhas de barro	USA	Biodiversidade	[57]
<i>Flavobacteriales</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Flavobacterium</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Frigoribacterium sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Gracilimonas sp.</i>	Tijolos de Barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Gramella sp</i>	Tijolos de Barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Halomonas ventosae</i>	Tijolos de Barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Halomonas nitritophilus</i>	Tijolos de Barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Halomonas muralis</i>	Tijolos de Barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Kocuria sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Lactococcus</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Leifsonia</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Massilia timonae</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Methylobacterium sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Microbacteriaceae</i>	Potes de cerâmica arqueológica	Pachacamac Site Museum (MSPACH), Peru.	Biodiversidade, Biodeterioração E Restauro	[38]
<i>Microbacterium sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Microcella</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Micrococcus sp</i>	Tijolos de barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodiversidade E Biodeterioração	[46]
<i>Myxococcus sp.</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Paenibacillus sp.</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]

	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Propionibacterium</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Proteobacterium</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Proteus sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Pseudomonas sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Pseudomonas, aeruginosas</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Pseudonocardia</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Psychrobacter</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Ralstonia</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Rhizobium sp.</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Rubellimicrobium aerolatum</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Rubrobacter sp</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Saccharophagus degradens</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Salinisphaera shabanensis</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Sarcina sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Serratia</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Sinorhizobium fredii</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Sphingobacteria</i>	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Sphingomonas sp.</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Sporolactobacillus</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]

<i>Stenotrophomonas</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Streptococcus sp.</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
<i>Streptomyces sp.</i>	Potes de cerâmica arqueológica	Pachacamac Site Museum (MSPACH), Peru.	Biodiversidade, Biodeterioração E Restauro	[38]
	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Thioalkalivibrio versutus</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Thiobacillus denitrificans</i>	Tijolos de barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodeterioração	[46]
TM7	Tijolos de barro	Muro da cidade de Nanjing Ming, China	Biodiversidade	[22]
<i>Virgibacillus carmonensis</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[63]
<i>Xanthomonas sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
NI	Tijolos de barro	Catedral de La Plata em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração	[64]
NI	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
NI	Tijolos de barro	Catedral de La Plata em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração e Restauro	[65]
NI	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
NI	Tijolos de barro	Casa privada e adega em Baumgarten, Austria	Biodiversidade	[66]
NI	Telhas de barro	USA	Biodiversidade	[57]
NI	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
NI	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
NI	Frag. Cerâmica arqueológica pré-coloniais – peças 3.00.296; 09.597; 10.00.011.	Reserva Técnica do LEPAARQ <sup>1</sup> Provenientes de: sitio arqueológico Ariano Souza I (Rio Grande do Sul), IHGPel <sup>2</sup> , Município Arroio do Padre/RS <sup>3</sup> , respetivamente	Biodiversidade	[37]

#### CIANOACTÉRIAS

<i>Aphanothece castagnei</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Aphanothece microscopica</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Aphanothece pallida</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Radha-Shyam templo em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Aphanothece stagnina</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Calothrix sp.</i>	Tijolos de barro	3 edifícios de Singapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Calothrix clavatoides</i>	Tijolos de barro	templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Calothrix marchica</i>	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chlorogloeae sp</i>	Tijolos de barro	3 edifícios de Singapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	3 edifícios de Singapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Chroococcidiopsis sp.</i>	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Livorno, Itália	Biodiversidade	[69]
	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Siena, Itália	Biodiversidade	[69]
<i>Chroococcidiopsis kashayi</i>	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
<i>Chroococcus sp</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	3 edifícios de Singapura	Biodiversidade	[67]

	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Edifícios, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Chroococcus indicus</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chroococcus minor</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chroococcus turgidus</i> <i>var. maximus</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chroococcus varius</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Cyanosarcina burmensis</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Cyanosarcina parthenonensis</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Cyanosarcina spectabilis</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Monumentos Sarat, Mayurbhanj, Orissa, Índia	Biodiversidade	[72]
	Tijolos de barro	Templo de Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]

<i>Cyanothece aeruginosa</i>	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Fischerella tenuis</i>	Tijolos de barro	locais escavados Lalitgiri em Orissa, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Gloeocapsa sp.</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Telhas de barro	edifícios de Singapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Gloeocapsa sanguinea</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Gloeotheca sp</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Gloeotheca rupestres</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Gloeotheca rhodochlamys</i>	Tijolos de barro	Monumentos Sarat, Mayurbhanj, Orissa, Índia	Biodiversidade	[72]
	Tijolos de barro	Udaigiri escavado local em Orissa, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Leptolyngbya sp.</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Livorno, Itália	Biodiversidade	[69]
	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Sienna, Itália	Biodiversidade	[69]
<i>Leptolyngbya boryana</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Leptolyngbya fareolarum</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Leptolyngbya polysiphoniae</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]



	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Lyngbya sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte de Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Lyngbya arborícola</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Lyngbya corticicola</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Lyngbya major</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Microcoleus vaginatus</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitetônicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Mycrocystis sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte de Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
	Telhas de barro	Índia		[75]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Myxosarcina sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Livorno, Itália	Biodiversidade	[69]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Myxosarcina concinna</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitetônicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Myxosarcina spectabilis</i>	Tijolos de barro	Templos em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Nostoc sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]

	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Nostoc commune</i>	Tijolos de barro	ocais escavados Lalitgiri em Orissa, Índia	Biodiversidade	[73]
	Tijolos de barro	locais escavados em Sarnath em Uttar Pradesh, Índia	Biodiversidade	[73]
	Tijolos de barro	Templos em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Nostoc linckia</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Nostoc microscopicum</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Nostoc punctiforme</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Oscillatoria sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Índia		[75]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Oscillatoria amphigranulata</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Phormidium aerugineo-coeruleum</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Phormidium ambiguum</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Phormidium autumnale</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Telhas de barro	Catedral de Salamanca, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Phormidium retzii</i>	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Phormidium tenue</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[76]
<i>Phormidium</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau,	Biodiversidade e	[71]

<i>tergestinum</i>		Polônia	Biodeterioração	
<i>Plectonema sp.</i>	Tijolos de barro	Fortaleza de Medici em Siena, Itália	Biodiversidade	[69]
<i>Plectonema boryanum</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitetônicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Pleurocapsa sp.</i>	Tijolos de barro	Fortaleza de Medici em Siena, Itália	Biodiversidade	[69]
<i>Porphyrosiphon ceylanicus</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Scytonema sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Fortaleza de Medici em Siena, Itália	Biodiversidade	[69]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Scytonema bohneri</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Scytonema drilosiphon</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau Memorial Site, Polônia	Biodiversidade	[77]
	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polônia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Scytonema geitleri</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Scytonema multiramosum</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Scytonema rivulare</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Scytonema schmidtii</i>	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]

	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Stigonema tomentosum</i>	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
		Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Synechocytis sp.</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitetónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Synechococcus aeruginosus</i>	Tijolos de barro	Templo Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Tolypothrix arenophila</i>	Tijolos de barro	loais escavados Lalitgiri em Orissa, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Tolypothrix byssoidea</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitetónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Tolypothrix fragilis</i>	Tijolos de barro	loais escavados em Sarnath em Uttar Pradesh, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Tolypothrix conglutinata</i>	Tijolos de barro	Templos em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[73]
<i>Westiellopsis sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Westiellopsis prolifica</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
NI	Tijolos de barro	Catedral de La Plata em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração	[64]
NI	Tijolos de barro	loais escavados Lalitgiri em Orissa, Índia	Biodiversidade	[73]
NI	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
NI	Telhas de barro	USA	Biodiversidade	[57]
NI	Telhas de barro	Novi Becej, NE Sérvia	Biodeterioração	[14]
<b>FUNGOS</b>				
<i>Acremonium</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Alternaria sp.</i>	Tijolos de barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[46]

	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restau	[45]
	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Aspergillus sp</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restau	[45]
	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Aspergillus, niger</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Aspergillus versicolor</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Aureobasidium</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Candida</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Chaetomium</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Cladosporium</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Clathrospora sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Curvularia</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Dirina</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Eupenicillium</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Eurotium</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Exophiala</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Fusarium sp</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restau	[45]
	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
	Frag. Cerâmica arqueológica pré-colonial – peça 09.597	Reserva Técnica do LEPAARQ <sup>1</sup> , doada por IHGPeI <sup>2</sup>	Biodiversidade	[37]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Geomyces</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Geotrichum</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]

<i>Gibberella sp</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Lachancea</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Lecythophora sp.</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Monilia sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Mucor sp</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Paecilomyces sp</i>	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Penicillium sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Phialophora</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Phoma sp.</i>	Tijolos de barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[46]
<i>Plectosphaerella</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Pleospora sp</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Psorotichia</i>	Frag. Cerâmica arqueológica	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[29], [40]
<i>Rhizopus</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Rhodotorula sp</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]

	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Scopulariopsis</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Sphaeropsidales</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Stachybotrys</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Suillus</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
<i>Trichoderma</i>	Tijolos de barro	Ponte Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restau	[45]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Tritirachium</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Ulocladium sp</i>	Tijolos de barro	Convento Carmelita, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[46]
	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Ustilago sp.</i>	Telhas de barro	Portugal (Porto) e Espanha (Vigo)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Wallemia</i>	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
<i>Wardomyces</i>	Frag. De ânforas arqueológicas	Portugal	Biodiversidade	[39]
Yeasts	Tijolos	Não especificado	Biodeterioração	[78]
NI	Telhas de barro	USA	Biodiversidade	[57]
NI	Telhas de barro	Lieblingshof (Germany)	Biodiversidade e Bioreceptividade Entre diferentes materiais	[59]
NI	Tijolos de barro	Catedral de La Plata em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração e Restau	[65]
NI	Tijolos de barro	Catedral de La Plata em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração	[64]
NI	Tijolos de barro	Parede islâmica no Alcazar de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[55]
NI	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
NI	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
NI	Tijolos de barro	Casa privada e adega em Baumgarten, Austria	Biodiversidade	[66]
<b>ALGAS</b>				
<i>Achnanthes coartata</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Achnanthidium minutissimum</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau,	Biodiversidade e	[71]

		Polónia	Biodeterioração	
<i>Apatococcus lobatos</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
<i>Bracteacoccus minor</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Templo de Jorbangla em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Kalachand em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chlamydomonas sp.</i>	Telhas de barro	Índia		[75]
<i>Chlorella sp.</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Sienna, Itália	Biodiversidade	[69]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		
	Telhas de barro	telhados do Porto (Portugal) e Vigo (Espanha)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Chlorella homosphaera</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Chlorella vulgaris</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
	Telhas de barro	Catedral de Salamanca, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[76]
<i>Chlorella zoofingensis</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Chlorellidium tetrabotrys</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Chlorhormidium pseudostichococcus</i>	Tijolos de barro	Não especificado		[68]



<i>Chlorococcum sp.</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Chlorococcum infusionum</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Chlorosarcinopsis sp.</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
<i>Chlorosarcinopsis cf. arenicola</i>	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
<i>Coenochloris sp</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Denticula kuetzingii</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Desmococcus olivaceus</i>	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Diadesmis contenta</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade	[77]
<i>Draparnaldia sp.</i>	Tijolos de barro	Ponte de Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
<i>Ecdysichlamys obliqua</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Euastrum sp.</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Eudorina sp.</i>	Telhas de barro	Índia		[75]
<i>Gomphonema lanceolatum</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Gomphonema parvulum</i>	Tijolos de barro	Edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Haematococcus pluvialis</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]

<i>Hantzschia amphioxys</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Klebsormidium flaccidum</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Telhas de barro	Catedral de Salamanca, Espanha	Biodiversidade e Biodeterioração	[76]
<i>Muriella terrestris</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
	Tijolos de barro	Convento de São Francisco em Mulla, Espanha	Biodiversidade	[70]
<i>Navicula gracilis</i>	Tijolos de barro	Templo de Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Navicula mútica</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Neochloris bilobata</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Nitzschia amphibia</i>	Tijolos de barro	Templo Madan Mohan em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Nitzschia palea</i>	Tijolos de barro	Templo de Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Prasiola crispa</i>	Tijolos de barro	Edifícios e Monumentos, Irlanda	Biodiversidade	[79]
<i>Prasiola calophylla</i>	Tijolos de barro	Edifícios e Monumentos, Irlanda	Biodiversidade	[79]
<i>Protococcus sp</i>	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
<i>Printzina effuse</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Pseudendoclonium printzii</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Radiococcus nimbatus</i>	Tijolos de barro	Templo Lalji em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo de Radha-Shyam em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Rosenvingiella polyrhiza</i>	Tijolos de barro	Edifícios e Monumentos, Irlanda	Biodiversidade	[79]
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Stichococcus sp</i>	Telhas de barro	telhados do Porto (Portugal) e Vigo (Espanha)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]

<i>Stichococcus bacillaris</i>	Tijolos de barro	Esculturas arquitectónicas Catedral de Sevilha, Espanha	Biodeterioração	[74]
<i>Trebouxia</i>	Tijolos de barro	edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Telhas de barro	telhados do Porto (Portugal) e Vigo (Espanha)	Biodiversidade E Bioreceptividade	[62]
<i>Trentepohlia sp.</i>	Tijolos de barro	edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
	Tijolos de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Tijolos de barro	Não especificado		[68]
	Telhas de barro	Construções, Cingapura	Biodiversidade	[67]
	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Trentepohlia áurea</i>	Tijolos de barro	Templo Rasmancha em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
<i>Tryblionella hungarica</i>	Tijolos de barro	edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
<i>Ulothrix sp.</i>	Tijolos de barro	Fortaleza Medici em Livorno, Itália	Biodiversidade	[69]
<i>Volvocales</i>	Telhas de barro	Não especificado		[68]
<i>Xanthonema sp.</i>	Tijolos de barro	edifícios em Memorial de Auschwitz-Birkenau, Polónia	Biodiversidade e Biodeterioração	[71]
NI Diatoms	Tijolos de barro	Muralha islâmica em Alcazar de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[55]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro	Muralha islâmica em Alcazar de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[55]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro	Piazzetta degli Ariani parede de tijolos em Ravenna, Itália	Biodiversidade	[80]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro	Catedral de Schleswig, Alemanha	Biodiversidade	[53]
NI Chlorophyta	Tijolos de barro	Catedral de La Plata, em Buenos Aires,	Biodeterioração e	[65]

		Argentina	restauro	
NI Chlorophyta	Tijolos de barro	Catedral de La Plata, em Buenos Aires, Argentina	Biodeterioração	[64]
NI Chlorophyta	Telhas de barro	Telhas expostas em estações experimentais em 6 locais: Göttingen, Schermbeck, Schönerlinde, Ostrach, Unsleben e Zingst (Alemanha)	Bioreceptividade	[81]
NI Chlorophyta	Telhas de barro	Lieblingshof, Alemanha	Biodiversidade e Bioreceptividade Entre diferentes materiais	[59]
NI Chlorophyta	Telhas de barro	Telhas envelhecidas da região de Novi Becej, NE Sérvia	Biodeterioração	[14]
<b>LÍQUENES</b>				
<i>Calogaya decipiens</i>	Telhas de barro	Espanha	Biodeterioração e Restauro	[44]
<i>Endocarpon pusillum</i>	Telhas de barro	Telhas envelhecidas da região de Novi Becej, NE Sérvia	Biodeterioração	[14]
<i>Lichinella,</i>	Frag. Cerâmica arqueológica (coletados á superfície)	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[41]
<i>Peltula euplaca</i>	Telhas de barro	Terunelli, Tamil Nadu, Índia		[82]
<i>Pertula patellata</i>	Telhas de barro	Terunelli, Tamil Nadu, Índia		[82]
<i>Peltula. obscurans</i>	Frag. Cerâmica arqueológica (coletados á superfície)	Valle de Antanaco Argentina	Biodeterioração	[41]
<i>Pyrenodesmia teicholyta</i>	Telhas de barro	Espanha	Biodeterioração e Restauro	[44]
<i>Verrucaria nigrescens</i>	Telhas de barro	Telhas envelhecidas de 6 a 10 anos da Panonia em Região de Voivodina, Sérvia	Biodeterioração	[43]
	Telhas de barro	Telhas de cerâmica de 20 a 30 anos de Kanjiza e perto do rio Tisa, Sérvia	Biodeterioração	[13]
	Telhas de barro	Telhas envelhecidas da região de Novi Becej, NE Sérvia	Biodeterioração	[14]
	Telhas de barro	Espanha	Biodeterioração e Restauro	[44]
Verrucariales	Telhas de barro	Telhas envelhecidas de 6 a 10 anos da Panonia em	Deterioração	[21]

		Região de Voivodina, Sérvia		
NI	Tijolos de barro	Edifícios em Auschwitz-Birkenau Memorial Site, Polônia	Biodiversidade	[77]
NI	Tijolos de barro	Ponte de Guayaquil em Antioquia, Colômbia	Biodeterioração e Restauro	[45]
NI	Tijolos de barro	Templo Shyam-rai em Bishnupur, Índia	Biodiversidade	[56]
NI	Tijolos de barro	Muralha islâmica em Alcazar de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[55]
NI	Tijolos de barro expostos ao ar e enterrados	Monumentos de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[54]
NI	Telhas de barro	Telhas de Lieblingshof, Alemanha	Biodiversidade e Bioreceptividade Entre diferentes materiais	[59]
NI	Telhas de barro	Catedral de Salamanca, Espanha	Biodeterioração	[50]
NI	Telhas de barro	Catedral de Toledo, Espanha	Biodeterioração	[50]



## ANEXO II – Condições de análise e protocolo

### ○ Micro fluorescência de raios-X dispersiva de energias ( $\mu$ -EDXRF)

A análise foi realizada com um espectrómetro *ARTAX 800 Bruker®* equipado com uma ampola de raios-X com alvo de Mo e diâmetro de *ca.* 70  $\mu$ m e um detetor de Si (Li) *Xflash®*. Os espectros foram adquiridos sobre as seguintes condições de análise: potencial de 40 kV, 600  $\mu$ A de intensidade de corrente, tempo de aquisição de 360 segundos e sob atmosfera de hélio. A análise quantitativa foi realizada com os programas *WinAxil* para a desconvolução dos espectros e *WinFund* para a quantificação, tendo sido usados para calibração os padrões de argila certificados *NIST 98b - Plastic Clay* e *NIST 679 - Brick Clay*. O erro associado à análise foi calculado para cada óxido através da análise destes mesmos padrões na tabela I.1.

Tabela II.0.1. Composições certificadas e obtidas por  $\mu$ -EDXRF dos padrões de argila Brick Clay e Plastic Clay.

% (m/m)	Brick Clay*		Plastic Clay*	
	Certificada	$\mu$ -EDXRF	Certificada	$\mu$ -EDXRF
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20,8	24,0	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	27,02
<b>BaO</b>	0,0482	0,05	<b>CaO</b>	0,1
<b>CaO</b>	0,23	0,23	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,0174
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,0159	0,02	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,69
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12,94	16,0	<b>K<sub>2</sub>O</b>	3,38
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,93	3,04	<b>MnO</b>	0,015
<b>SiO<sub>2</sub></b>	52,07	55,0	<b>SiO<sub>2</sub></b>	57,01
<b>SrO</b>	0,0086	0,01	<b>SrO</b>	0,022
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,96	1,10	<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,35

\*Padrões certificados: Brick Clay e Plastic Clay do National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Material 679 and 98b, respetivamente.

### ○ Difração de Raio – X ( $\mu$ -XRD)

As análises de  $\mu$ -XRD das amostras em pó das pastas cerâmica P1 e P2 e dos respectivos corpo cerâmicos após a cozedura foram realizadas com difratômetro da marca Bruker modelo AXS D8 usando a radiação  $K\alpha$  do cobre (= 0.15406 nm) operando com uma tensão de aceleração de 40 kV e corrente de filamento de 40 mA. Os difractogramas foram obtidos com um varrimento entre 3° e 75° 2 $\theta$ , em intervalos de 0.05° e com um tempo de medição de 1s por passo. A identificação das fases cristalinas foi realizada por comparação com as fichas de minerais publicadas pela International Centre for Diffraction Data Powder Diffraction Files (ICDD PDF).

### ○ **Análise por Microscopia Ótica (MO)**

Realizaram-se análises por observações microscópicas usando o microscópio Zeiss, modelo Axiostar plus. As objetivas utilizadas foram as CP-Achromat 5×/0.12 e 10×/0.25 com oculares 10x/18.

### ○ **Análise Colorimétrica**

Para a quantificação da cor utilizou-se um espectrocolorímetro Minolta-modelo CM-508i. Este equipamento possui um sistema de iluminação difusa e um ângulo de observação de 8° sobre a amostra em estudo (geometria d/8). O diâmetro de medição da amostra é aproximadamente 8mm. Este procede a oito medições colorimétricas em cada ponto de análise. Nas medições efetuadas, foi utilizado o observador normalizado CIEL\*a\*b\* e o iluminador D<sub>65</sub> (que representa a luz média diurna incluindo a radiação ultravioleta com temperatura de cor correlacionada 6504K).

Cada medição apresentada corresponde á média de 3 leituras na mesma zona (zona central dos provetes onde foram inoculados os fungos).

No espaço CIEL\*a\*b\* cada cor é descrita por três componentes: L\*-Luminosidade, onde 0 significa preto e 100 é a intensidade máxima de luz que ainda é visível sem causar dano aos olhos; a\* - a cor entre o verde e vermelho (-128, +127), b\*- cor entre o azul e amarelo (-128,+127). No meio (a=0; b=0) apenas existem valores cinza [60]. Na figura 11 podemos observar um esquema que representa o espaço CIEL\*a\*b\*.

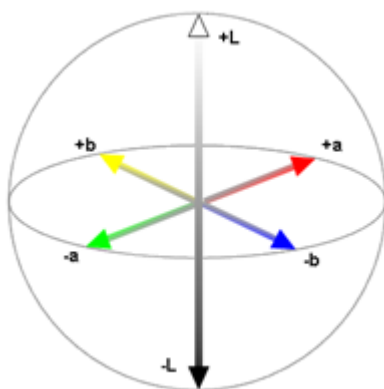


Figura II.1. Espaço de cor CIEL\*a\*b\*.

<https://afinkopolimeros.com.br/colorimetria-cores-de-um-material/attachment/23/>

Neste espaço, todas as cores visíveis e distinguíveis para os olhos humanos podem ser representadas. A diferença ( $\Delta E_{lab}$ ) entre duas cores é calculada pela seguinte formula:

$$\Delta E_{lab} = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

de acordo com a fórmula da distância Euclidiana entre dois pontos no espaço CIEL\*a\*b\*. Um observador padrão vê a diferença de cor quando:



- $0 < \Delta E < 1$  – Observador não nota a diferença
- $1 < \Delta E < 2$  – Apenas um observador experiente consegue notar a diferença
- $2 < \Delta E < 3.5$  – Observador inexperiente consegue notar a diferença
- $3.5 < \Delta E < 5$  – Nota claramente a diferença de cor
- $5 < \Delta E$  – observador nota duas cores diferentes

(Os dados representam estatísticas verificadas experimentalmente) [60]

#### ○ **Determinação da porosidade aberta**

Para determinação da porosidade (aberta) acessível á agua, seguiu-se o procedimento recomendado na Norma Europeia (CEN) prEN 1936 (1998) – *Natural stone test method: Determination of real density and apparent sensity, ando f total and open porosity*, tal como o nome indica utilizado para pedra natural, mas que já foi utilizado anteriormente para testes em cerâmica [83], [84] e também a Norma Portuguesa EN 1936 (2008).

#### ○ **Medições de pH**

Para determinar os valores de pH de cada pasta cerâmica moeu-se 20g de cerâmica com cerca de 1mm de grão, adicionou-se 100mL de água destilada e misturou-se. Deixou-se a solução a assentar e só depois se mediu o pH da suspensão usando o medidor de pH DOcu-pH<sub>Meter</sub> da Sartorius. Foram realizadas 4 medições a cada suspensão com intervalos de 1hora de modo a perceber se existiam oscilações nos pH's de cada cerâmica [85].

#### ○ **Análise por microscopia eletrónica de varrimento (MEV = SEM)**

As amostras foram então estudadas sob um microscópio eletrónico de varrimento (MEV) Zeiss DSM 962, com um detetor de eletrões secundários (SE) que é um detetor lateral com o qual se obtém um maior contraste tipográfico e com um detetor de eletrões dispersos (BSE), primeiramente para obter imagens. Depois foram também realizadas análises elementares através do EDS, sendo que as condições operacionais para a análise foram: no modo de eletrões retro difundidos (BSE) com tensão de aceleração de 20 kV. Foi aplicado um filme de ouro às amostras para aumentar a condutividade da superfície a analisar.

Estas análises foram realizadas no Centro de Pesquisa de Materiais (CENIMAT), Universidade Nova de Lisboa (Portugal) com o auxílio do Professor Rui Silva.



### ANEXO III – Resultados das análises elementares de SEM- EDS.

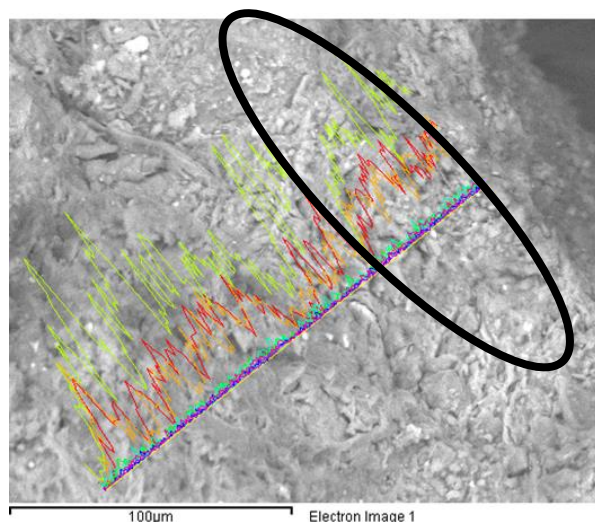


Figura III.0.1. Amostra P1\_Lastra com fungos. Zona colorida representa a zona analisada. Zona delineada a negro representa zona com contaminação por fungos.

A figura III.1 representa uma amostra inoculada com fungos, onde foi selecionada uma linha desde a zona onde os fungos penetraram (mais à superfície) até uma zona mais profunda da amostra que não foi contaminada por fungos. Foram realizadas várias análises ao longo dessa linha de modo a obter os gráficos apresentados da figura III.2 a III.10. Estes gráficos representam a variação na concentração de cada elemento identificado na amostra, onde podemos facilmente constatar que ao longo de toda a zona de análise os valores se vão alterando bastante, quer na zona onde há fungos quer na zona não contaminada. Isto leva-nos a concluir que a pasta cerâmica por si só apresenta uma composição variável, que se deve ao facto de ser uma cerâmica bastante heterogénea. Não é então possível estabelecer relação entre as alterações da pasta cerâmica não contaminada com a pasta cerâmica contaminada por fungos, pois as alterações na zona contaminada são idênticas às alterações nas zonas não contaminadas.

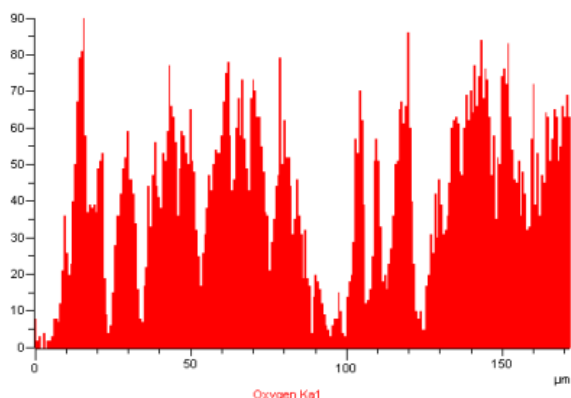


Figura III.2. Gráfico correspondente à variação de oxigénio na amostra.

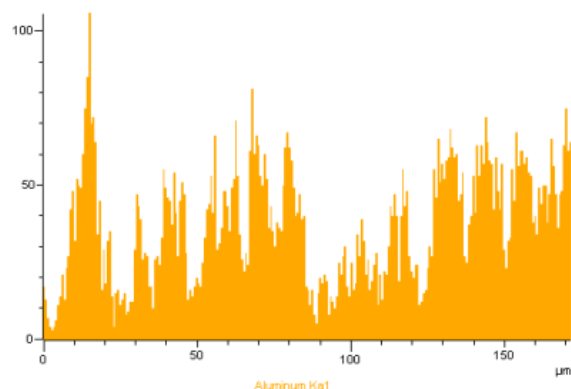


Figura III.3. Gráfico correspondente à variação de alumínio na amostra.

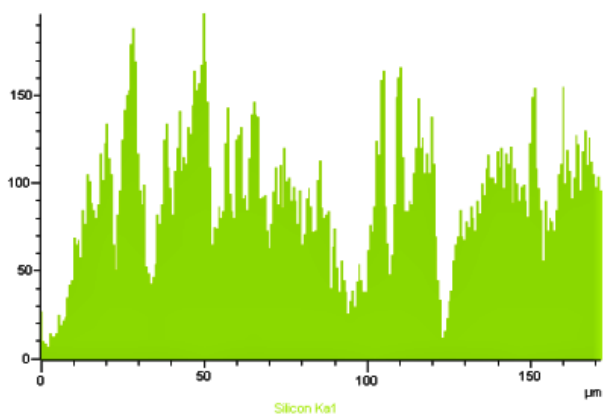


Figura III.4. Gráfico correspondente à variação de silício na amostra.

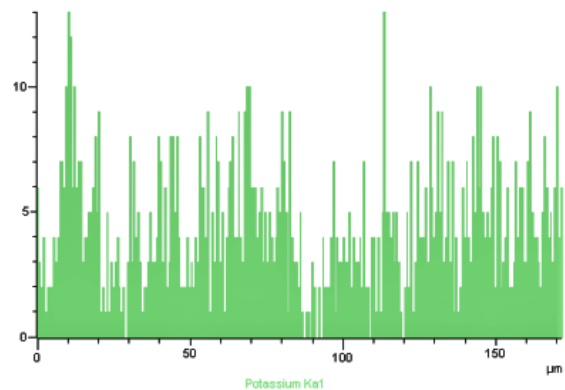


Figura III.5. Gráfico correspondente à variação de potássio na amostra.

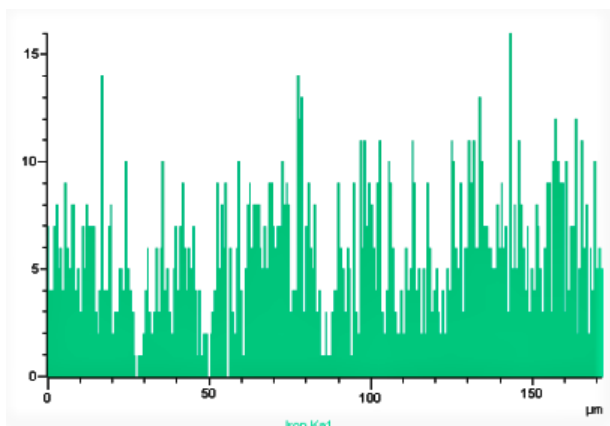


Figura III.6. Gráfico correspondente à variação de ferro na amostra.

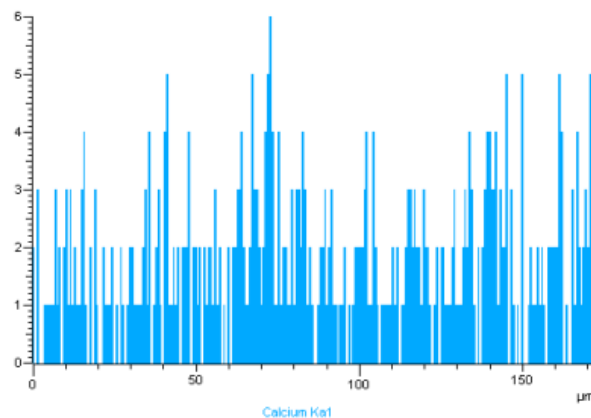


Figura III.7. Gráfico correspondente à variação de cálcio na amostra.

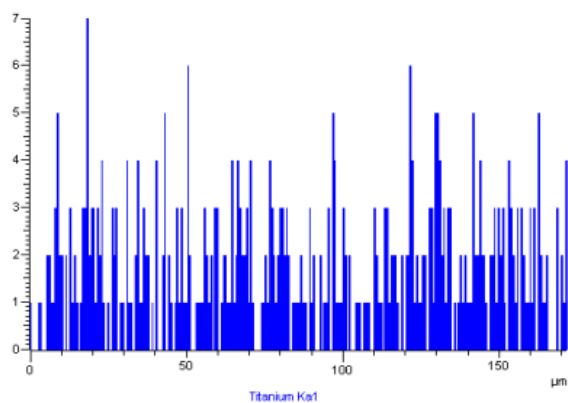


Figura III.8. Gráfico correspondente à variação de titânio na amostra.

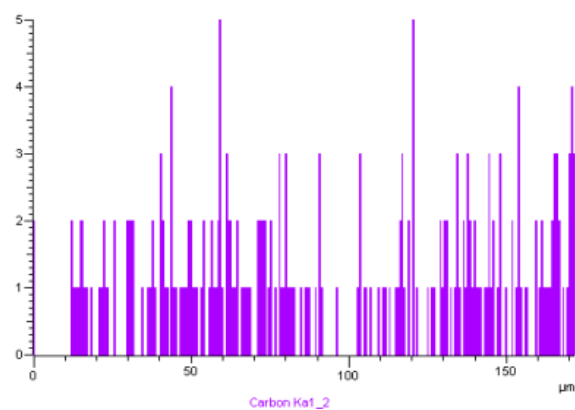


Figura III.9. Gráfico correspondente à variação de Carbono na amostra.

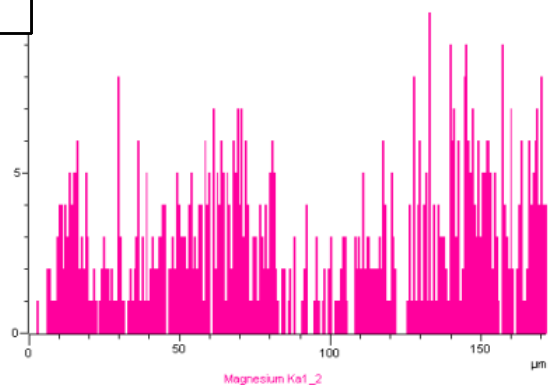


Figura III.10. Gráfico correspondente à variação de magnésio na amostra.